

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení

**Řízení rychlosti pneumatických motorů**

**Speed Control of Pneumatic Motors**

**Student:**

**Vojtěch Řeháček**

**Vedoucí bakalářské práce:**

**Ing. Lukáš Dvořák, Ph.D.**

**Ostrava 2014**

## Zadání bakalářské práce

Student: **Vojtěch Řeháček**  
Studijní program: B2341 Strojírenství  
Studijní obor: 2302R007 Hydraulické a pneumatické stroje a zařízení  
Téma: **Řízení rychlosti pneumatických motorů**  
**Speed Control of Pneumatic Motors**

Zásady pro vypracování:

- 1) Uveďte přehled prvků pro řízení rychlosti, jejich konstrukce a charakteristiky.
- 2) Vypracujte přehled zapojení prvků do obvodu a jejich vliv na rychlost pohybu a otáčky.
- 3) Navrhněte experiment a proveďte vliv prvků na průběhy rychlosti pohybu pístu a tlaku v pracovních prostorech pneumomotoru.

Seznam doporučené odborné literatury:


KOLEKTIV AUTORŮ. *SMC Training – Stlačený vzduch a jeho využití*. Brno: SMC Industrial Automation CZ s.r.o. 2. vydání. 344 s.  
BEATER, P. *Pneumatic drives: system design, modelling and control*. Berlin: Springer, 2007. 323 pp. ISBN 978-3-540-69470-0  
KOPÁČEK, J. *Pneumatické mechanismy díl 1. – Pneumatické prvky a systémy*. Ostrava: VŠB-TUO, 1996. 267 s. ISBN 80-7078-306-0  
Katalogy a firemní podklady výrobců pneumatických prvků.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Lukáš Dvořák, Ph.D.**

Datum zadání: 17.02.2014

Datum odevzdání: 19.05.2014



---

doc. Dr. Ing. Lumír Hružík  
vedoucí katedry



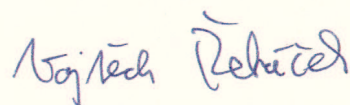
---

doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 15.5. 2014



podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou (bakalářskou) práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́домі́, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou (bakalářskou) práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová (bakalářská) práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové (bakalářské) práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou (bakalářskou) práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі́, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 15.5. 2014

*Vojtěch Řeháček*

podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Vojtěch Řeháček

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Opavská 266, Hradec nad Moravicí



## **Poděkování**

Rád bych tímto poděkoval vedoucímu práce Ing. Lukáši Dvořákovi, Ph.D. za příkladné vedení práce a profesionální přístup při konzultacích, Mgr. Zuzaně Blokešové za textovou korekturu a v neposlední řadě bratru Jakubu Řeháčkovi za technickou podporu.

## ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

ŘEHÁČEK, V. *Řízení rychlosti pneumatických motorů : bakalářská práce*. Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení, 2014, 60 s., Vedoucí práce: Dvořák, L.

Bakalářská práce pojednává o problému řízení rychlosti pneumatických motorů. V úvodu je popsán výčet a popis funkce nejpoužívanějších řídicích prvků. Dále jsou v práci nastíněny hlavní teoretické poznatky a průběhy o řízení rychlosti. Na základě těchto informací je sestaven měřicí obvod, na kterém byla provedena sada pěti měření, vždy s odlišným nastavením řídicího ventilu. Jedná se výhradně o zapojení škrticího ventilu na vstupu a výstupu z pneumatického motoru. Data jsou graficky vyhodnocena a je uveden popis průběhů. Naměřená data jsou obsahem přílohy.

Klíčová slova: Řízení rychlosti, Škrticí ventil, Škracení na vstupu, Škracení na výstupu

## ANNOTATION OF BACHELOR'S THESIS

ŘEHÁČEK, V. *Speed Control of Pneumatic Motors : Bachelor Thesis*. Ostrava : VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Hydromechanics and Hydraulic Equipment, 2014, 60 p., Thesis head: Dvořák, L.

This bachelor thesis aims to provide insight into the topic of speed control of the pneumatic motors. In the introduction a list and a description of the most frequently used control elements is provided. Further on in the thesis the main theoretical findings in the field are described. Based on those findings a measuring circuit has been assembled and total number of five measurement has been carried out. The measurements has been diversified by setting the control valve differently. The measuring circuit consists exclusively of installed throttle valve in the input and in the output of the pneumatic motor. Obtained data has been graphically analysed and the processes has been described. All measured data are enlisted in the annex of the thesis.

Key words: Speed control, Throttle valve, Throttling in the input, Throttling in the output

# Obsah

<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMBOLŮ .....</b>	<b>9</b>
<b>1 ÚVOD .....</b>	<b>10</b>
<b>2 PŘEHLED PRVKŮ PRO ŘÍZENÍ RYCHLOSTI .....</b>	<b>11</b>
2.1 Škrticí ventily .....	11
2.2 Škrticí ventil v kombinaci s jednosměrným ventilem.....	12
2.2.1 Konstrukční provedení ventilů .....	12
2.2.2 Charakteristiky – Průtočný objem vzduchu.....	15
2.3 Zdvojený škrticí ventil se zpětným ventilem .....	16
2.4 Škrticí a zpětný ventil s ovládáním kladičkou .....	17
2.5 Vzduchem ovládaný zpětný ventil se škrticím a zpětným ventilem.....	18
2.5.1 Funkce v obvodu .....	19
2.6 Škrticí ventil v kombinaci s tlumičem .....	20
2.6.1 Konstrukce.....	20
2.6.2 Schéma zapojení v obvodu.....	21
2.6.3 Charakteristiky – průtočný objem .....	21
2.7 Škrticí ventil v kombinaci s rychloodvzdušňovacím ventilem .....	22
2.7.1 Konstrukce.....	24
2.7.2 Charakteristiky – průtočný objem .....	25
2.8 Ventily pro úsporu stlačeného vzduchu s funkcí regulace tlaku a průtoku .....	26
2.8.1 Konstrukce ventilu tlaku ASR s nastavitelným tlakem.....	26
2.8.2 Konstrukce ventilu průtoku ASQ s nastavitelným tlakem .....	27
2.8.3 Funkce v obvodu a zapojení v obvodu .....	28
<b>3 ZAPOJENÍ DO OBVODU A VLIV NA CHARAKTERISTIKY .....</b>	<b>29</b>
3.1 Škrcezení vzduchu na vstupu do válce .....	29
3.2 Škrcezení vzduchu na výstupu z válce .....	30
3.3 Charakteristiky rychlosti pohybu válce.....	31
3.3.1 Škrcezení na vstupu u přímočarého válce.....	31
3.3.2 Škrcezení na výstupu u přímočarého válce.....	31

3.3.3 Škrčení na vstupu a výstupu u rotačního pneumatického motoru .....	32
<b>4 POPIS MĚŘICÍHO OBVODU .....</b>	<b>33</b>
4.1 Schéma měřicího obvodu a popis prvků .....	33
4.2 Průběh měření a zpracování výsledků .....	36
<b>5 VÝSLEDKY MĚŘENÍ .....</b>	<b>38</b>
5.1 Bez škrťacího ventilu .....	38
5.2 Škrčení na vstupu a výstupu při stejném nastavení ŠV a tlaku.....	41
5.3 Škrčení na vstupu a výstupu při rozdílném nastavení ŠV a stejném tlaku .....	50
5.4 Škrčení na výstupu – vliv dlouhé hadice .....	54
5.5 Škrčení na vstupu a výstupu při zasouvání zatížené pístnice .....	56
<b>6 ZÁVĚR.....</b>	<b>59</b>
<b>7 POUŽITÁ LITERATURA.....</b>	<b>60</b>

## SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMBOLŮ

$Q$  – průtok [ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ]

ŠV – škrticí ventil

$d$  – průměr, světlost [mm]

$l$  – délka [m]

$m$  – hmotnost [kg]

ot. – otáčky šroubu od uzavřené pozice [1]

$p$  – tlak [MPa]

$s$  – dráha [mm]

$t$  – čas [s]

$v$  – rychlost [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ]



# 1 ÚVOD

Pneumatické mechanismy jsou neodmyslitelnou součástí průmyslových strojů. Jsou využívány tam, kde stačí malé a střední síly, ale je potřeba velké rychlosti a frekvence. Užití stlačeného vzduchu je všestranné, používá se pro pohony, řízení a regulaci. Vzduch je uplatňován napříč celým průmyslovým sektorem. [1]

Mezi hlavní výhody patří dostupnost, jednoduché skladování a konstrukce pneumatických prvků, snadné řízení rychlosti, trvanlivost při malých nárocích na údržbu a bezpečnost. Velkým přínosem oproti hydraulickým mediím je jeho nezávadnost vzhledem k životnímu prostředí.

Aby bylo dosaženo co nejefektivnější funkce pneumatických motorů, je nutné stlačený vzduch upravovat a řídit. K tomuto účelu je na trhu velké množství různých řídicích prvků, které jsou vyráběny v mnoha modifikacích. Tomuto trendu napomáhá i fakt, že v pneumatice nejsou přítomny velké pracovní tlaky, což snižuje jednoduchost konstrukce a tím i cenu výrobku.

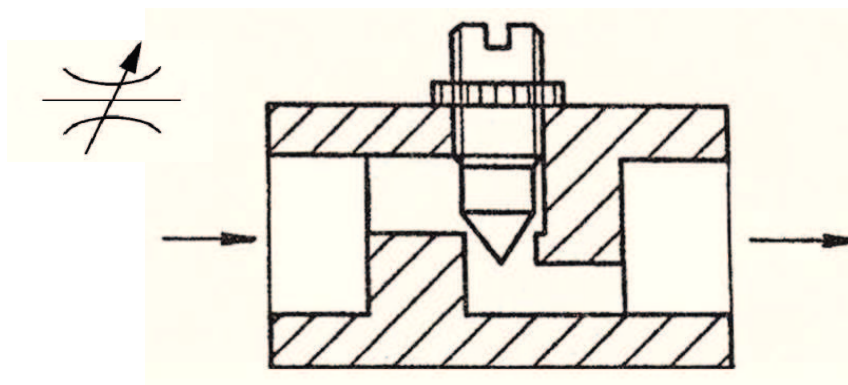
Stěžejním řídicím atributem je řízení rychlosti pneumatických motorů. K tomuto účelu se používají nejčastěji škrticí ventily. Jsou vyráběny v mnoha konstrukčních provedeních a kombinacích s dalšími ovládacími prvky, nejčastěji hradícího typu. Z pohledu zapojení škrticího ventilu do obvodu se v průmyslu používají nejčastěji dvě zapojení a to škrcení na vstupu a na výstupu z válce. [2]

## 2 PŘEHLED PRVKŮ PRO ŘÍZENÍ RYCHLOSTI

### 2.1 Škrticí ventily

Škrticí ventily se řadí do skupiny „*prvků pro řízení pohybové frekvence, tj. rychlosti nebo otáček pneumatického motoru, a to v jednom či obou smyslech pohybu*“. [2] Nejrozšířenější je použití škrticího ventilu pro řízení rychlosti pneumatického motoru jak přímočarého, tak i rotačního. V podstatě je možné použít škrticí ventil ve dvou základních zapojeních vzhledem ke smyslu proudění media – a to v zapojení na vstupu anebo výstupu z pneumatického motoru, pro jeho naplňování nebo vyprazdňování. [2]

Škrticím elementem je nejčastěji kuželová jehla, která dosedá do sedla. Nastavení velikosti průtočného průřezu se nastavuje pomocí šroubu, který je kombinován s aretační maticí pro jisté ustavení polohy jehly. Při průtoku media ventilem je toto škrceno obousměrně, neboť ventil v základním provedení není vybaven prvky pro hrazení směru proudění. [1]



Obr. 2.1 Schéma a značka jehlového škrticího ventilu [2]

Škrticí ventily se kombinují s dalšími prvky. Mezi základní patří kombinace s jednosměrným ventilem a dále s tlumičem, s tlakovým ventilem a s rychloodvzdušňovacím ventilem.

„Kombinované řídicí prvky vznikají sestavením základních prvků do funkčního celku“. [1] Z funkčního hlediska je také důležité zajistit, aby při jednom vstupu stlačeného vzduchu byly uskutečněny všechny požadované funkce prvku.

## 2.2 Škrticí ventil v kombinaci s jednosměrným ventilem

*„Umožňují jednoduchým způsobem plynule měnit rychlost pohybu pneumatických pohonů.“ [1]*

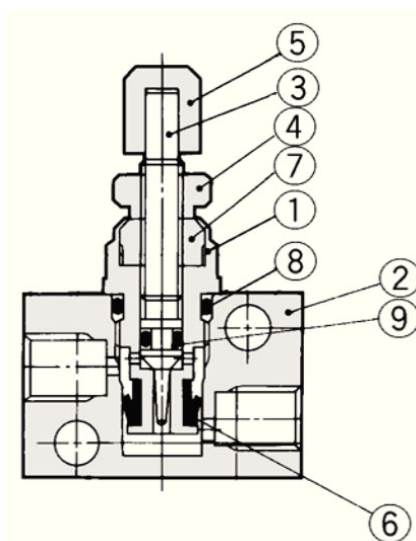
Toto uspořádání je velmi rozšířené. Provedení vznikne paralelním připojením jednosměrného a škrticího ventilu. Samotná konstrukce je patrná z Obr. 2.2. Hradící prvek, kterým se realizuje uzavření jednosměrného ventilu je nejčastěji kulička, kužel, membrána nebo destička. [2][8]

Díky této konstrukci je možné regulovat průtok vzduchu pouze v jednom směru. Když je zpětný ventil uzavřen (tlakem vzduchu z neprůchozí strany), musí vzduch procházet sedlem škrticího ventilu, jehož průřez je omezen kuželem vřetene. Při průchodu media v opačném směru se díky tlaku vzduchu otevře jednosměrný ventil a stlačený vzduch tak může neškrceně proudit celým sedlem škrticího ventilu. Proto je díky tomuto konstrukčnímu uspořádání možné efektivně regulovat rychlost pneumatického pohonu. Nastavení otevření se realizuje nejčastěji pomocí šroubu.[2]

Rozlišujeme provedení s horizontálním a vertikálním příívodem a dále škrcení na vstupu a výstupu. Zjednodušeně řečeno je směr škrcení ovládán orientací těsnění z NBR pryže.

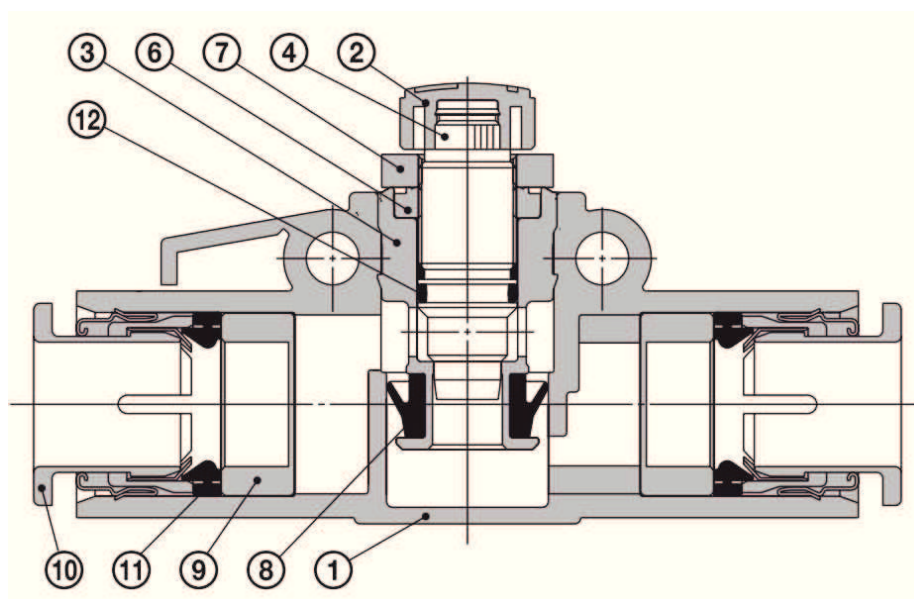
### 2.2.1 Konstrukční provedení ventilů

**In – line s kovovým tělem ve tvaru kostky**



*Obr. 2.2 Škrticí jednosměrný ventil, zapojení přímo do hadice (In - line), model AS1000 –od firmy SMC, 1 – Těleso B, 2 – Těleso ventilu, 3 – Regulační jehla, 4 – Aretační matice, 5 – Točítko, 6 – Těsnění, 7 – Vedení jehly, 8, 9 – O – Kroužek [3]*

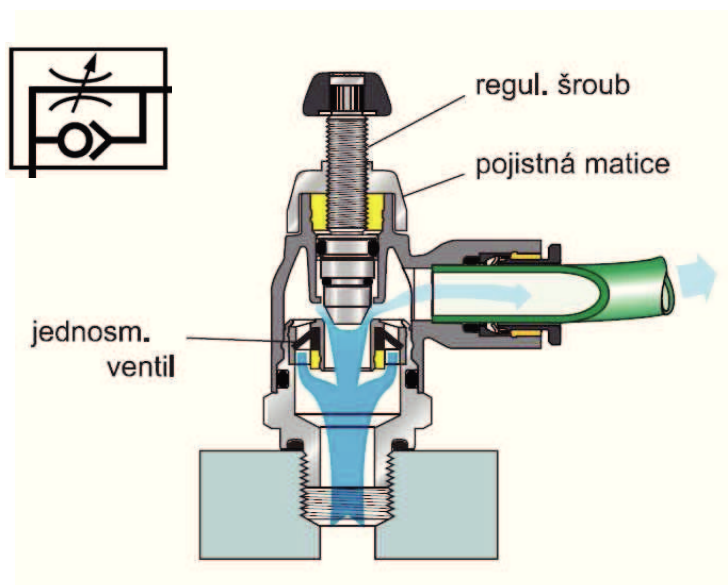
## In – line



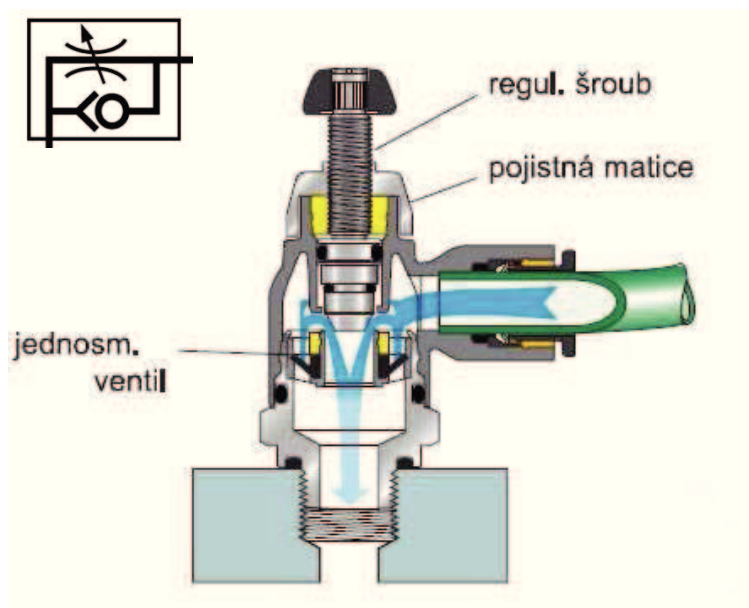
Obr. 2.3 Škricí jednosměrný ventil, zapojení přímo do hadice (In - line), model AS In - line od firmy SMC, 1 – Těleso A, 2 – Točítko, 3 – Těleso B, 4 – Regulační jehla, 5 – Těsnicí kroužek, 6 – Vedení jehly, 7 – Přítužná matice, 8 – Těsnění, 9 – Rozpěrné pouzdro, 10 – Uvolňovací kroužek, 11 – Těsnění, 12 – O – Kroužek [3]

## Umožňující montáž přímo do závitu ve víku pneumatického motoru

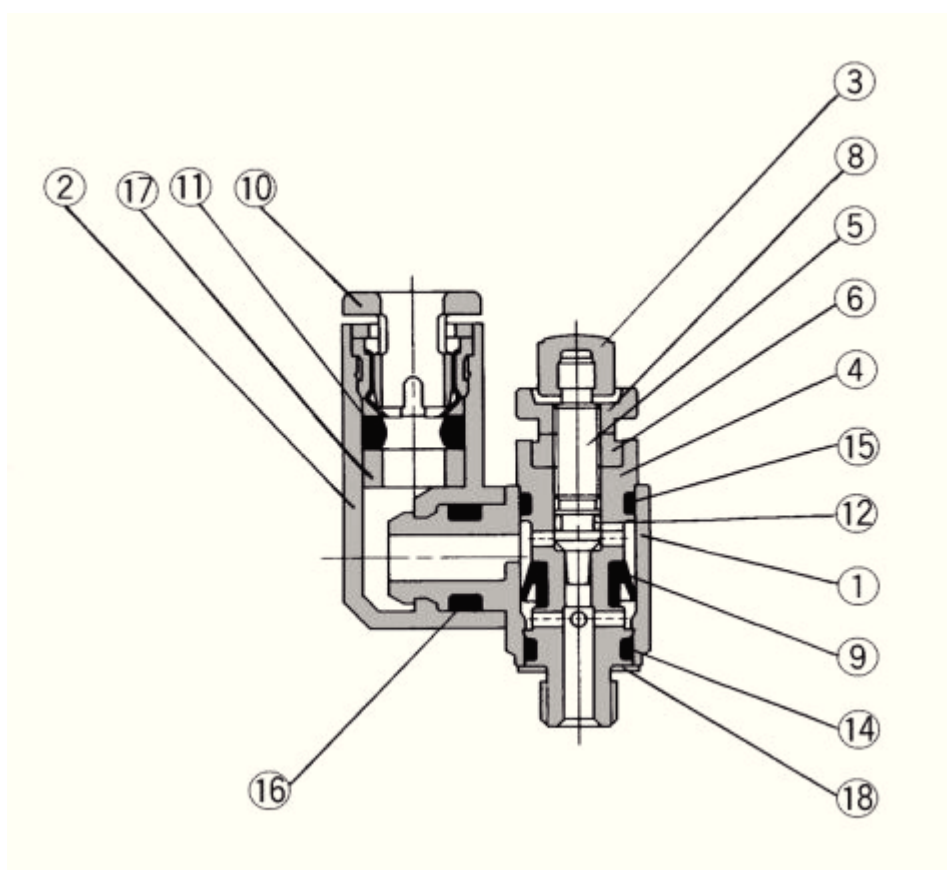
Toto konstrukční řešení je velmi rozšířené.



Obr. 2.4 Škrťací jednosměrný ventil se škrtením na výstupu a značka, horizontální poloha [4]



Obr. 2.5 Škrticí jednosměrný ventil se škrcením na vstupu a značka, horizontální poloha[4]



Obr. 2.6 Škrticí jednosměrný ventil se škrcením na výstupu, vertikální přívod, model AS3301F-02 od firmy SMC, 1 – Těleso A, 2 – Koleno, 3 – Točítka, 4 – Těleso B, 5 – Regulační jehla, 6 – Vedení jehly, 7 – Prstenec, 8 – Přítužná matice, 9 – Těsnění, 10 – Uvolňovací kroužek, 11 – Těsnění, 11, 12, 13, 14, 15, 16 – O – kroužek, 17 – Rozpěrka, 18 – Těsnění [3]



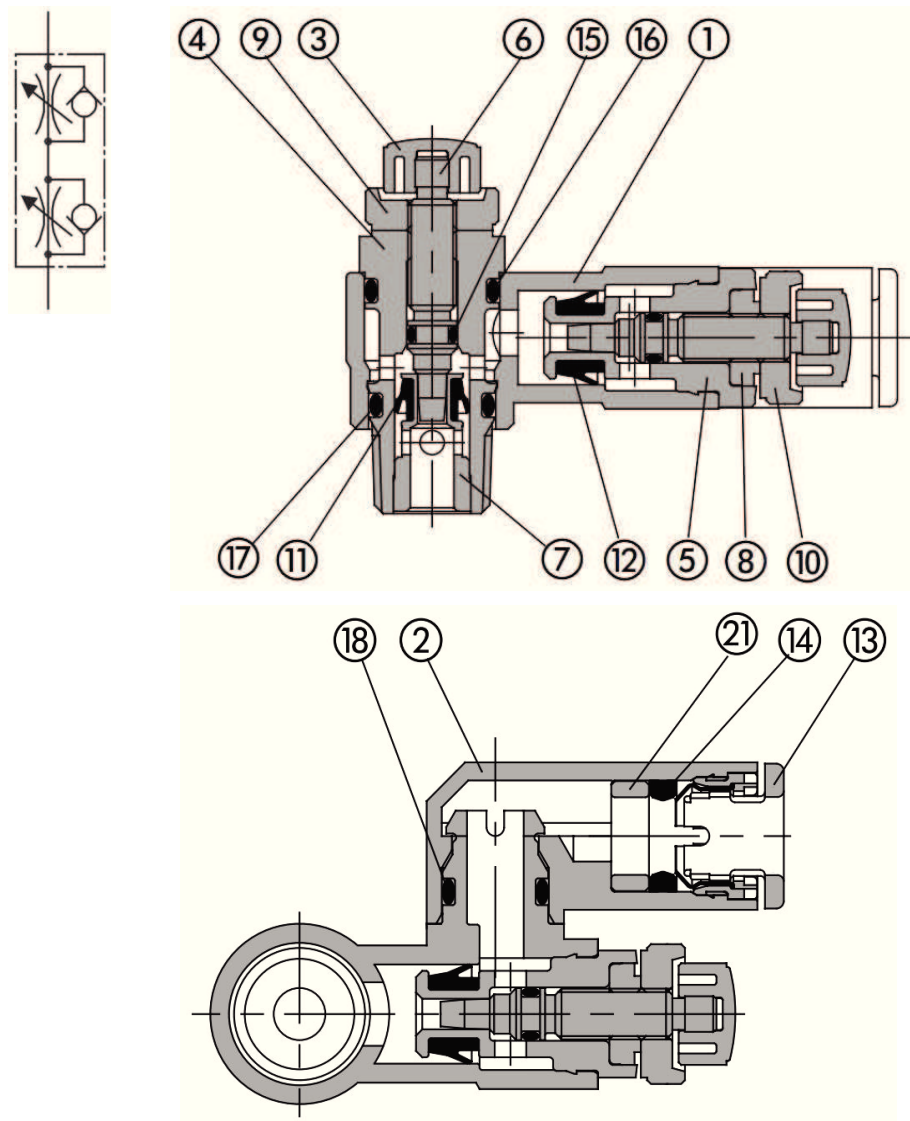
### 2.2.2 Charakteristiky – Průtočný objem vzduchu



Obr. 2.7 Ukázka charakteristiky závislosti průtočného objemu na počtu otočení jehly, platí pro model AS1201F-M3-02 od firmy SMC [3]

## 2.3 Zdvojený škrticí ventil se zpětným ventilem

Toto provedení ventilu umožňuje regulaci průtoku v obou směrech proudění. To je způsobeno opačnou orientací zapojení jednosměrných ventilů (viz. Obr2.8).

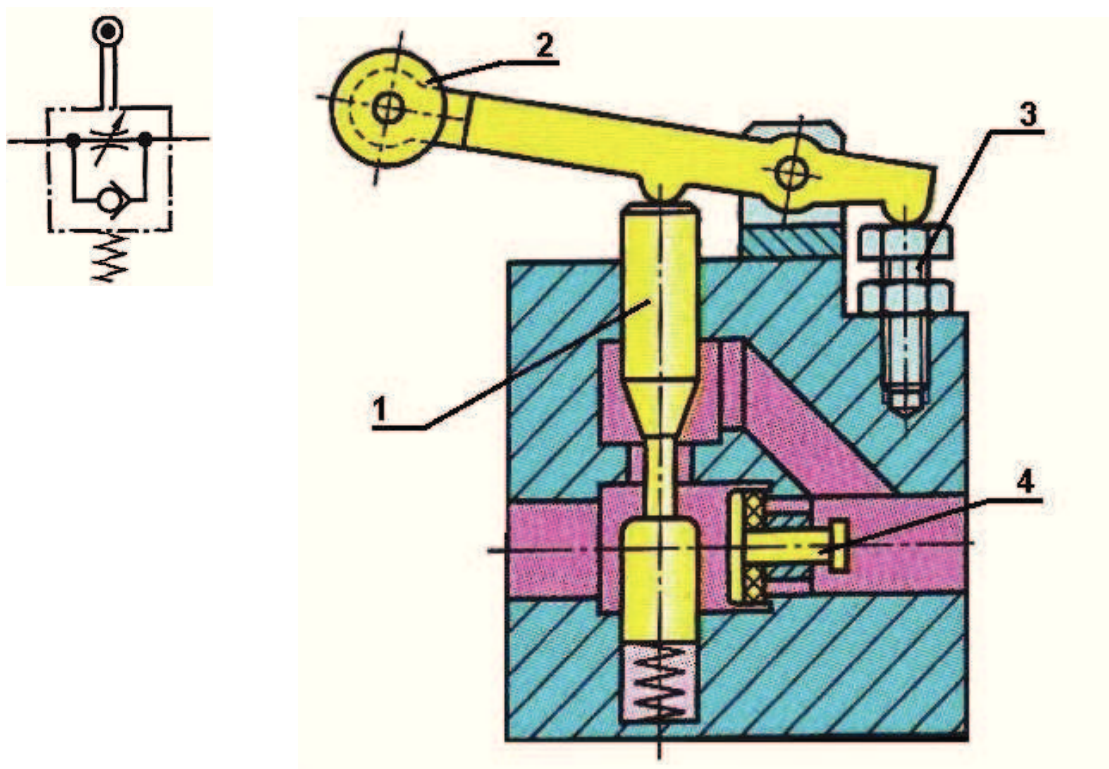


Obr. 2.8 Zdvojený škrticí ventil se zpětným ventilem a značka, model ASD330F/430F od firmy SMC, 1 – Těleso A, 2 – Koleno, 3 – Točítka, 4 – Těleso B, 5 – Těleso B, 6 – Regulační jehla, 7 – Prstenec, 8 – Vedení jehly, 9 – Přítužná matice, 10 – Přítužná matice, 11, 12, 14 – Těsnění, 13 – Uvol. kroužek, 15, 16, 17, 18, 19 – O – kroužek, 20 – Těsnění, 21 – Rozpěrné pouzdro [3]

## 2.4 Škrticí a zpětný ventil s ovládáním kladičkou

„Škrticí ventily tohoto typu se používají tam, kde je zapotřebí řídit rychlost přímočarého motoru v závislosti na jeho poloze.“[2] Nejčastěji se umísťuje tak, aby píst při dojezdu do koncové polohy sepnul páku s kladkou (viz Obr. 2.9). U přímočarých dvojčinných motorů je možné využít ventily s kladičkou pro funkci tlumení pohybu pístu v koncových polohách. [2]

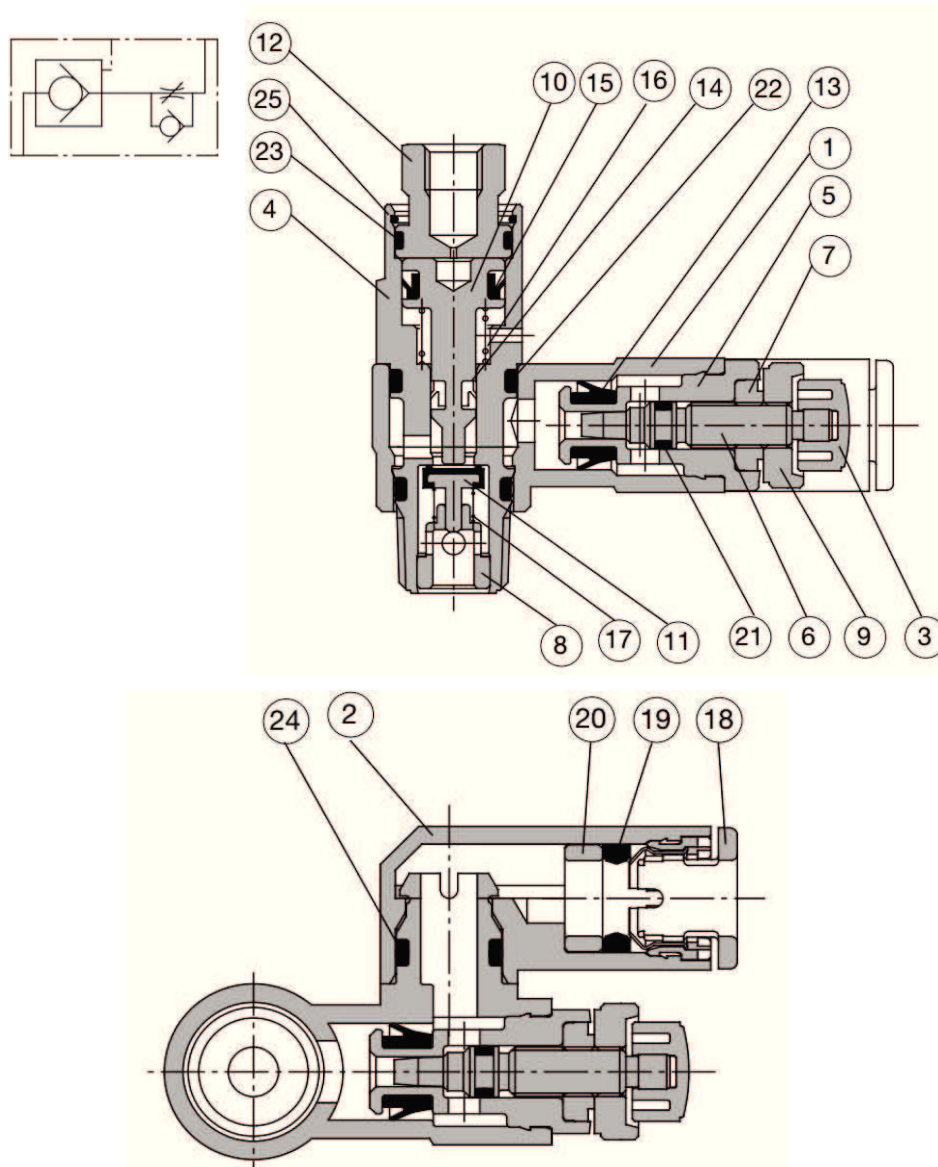
Přesný popis funkce ŠV s kladkou lze v návaznosti na Obr. 2.9 popsat takto: „Škrticí šoupátko 1 je ovládáno přes páku s kladkou 2 stlačovanou řídicí lištou s náběžnou hranou. Šroubením 3 se nastaví základní škrticí průřez. Volný průtok vzduchu v opačném směru je umožněn vestavěným jednosměrným ventilem 4 s plochým sedlem.“[2]



Obr. 2.9 Kombinovaný škrticí a jednosměrný ventil s mechanickým ovládáním kladičkou (kulisou) a značka, 1 – Škrticí šoupátko, 2 – Páka s kladkou, 3 – Nastavovací šroub, 4 – Jednosměrný ventil[8]

## 2.5 Vzduchem ovládaný zpětný ventil se škrticím a zpětným ventilem

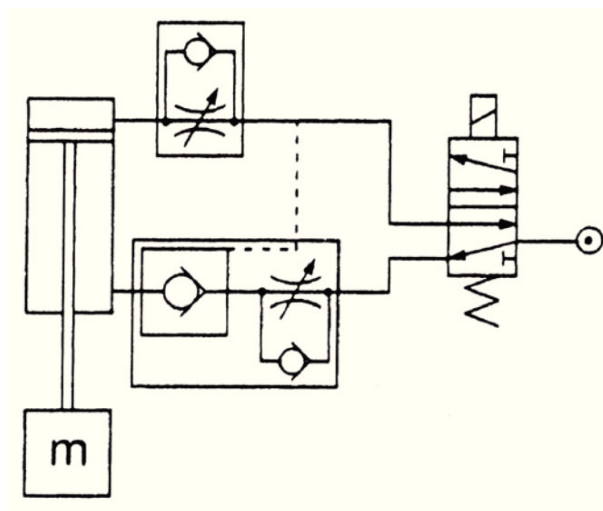
Používá se jako pojistka při přerušení dodávky vzduchu, k realizaci mezipoloh pneumatického pohonu nebo k pojištění proti pádu závaží. Škrticí ventil potom slouží k nastavení rychlosti spouštění.[3]



Obr. 2.10 Vzduchem ovládaný zpětný ventil se škrticím a zpětným ventilem a značka, model ASP od firmy SMC, 1 – Těleso A, 2 – Koleno, 3 – Točítko, 4 – Těleso ovl. ventilu, 5 – Těleso B, 6 – Regulační jehla, 7 – Vedení jehly, 8 – Jehla, 9 – Přítlačná matice, 10 – Píst, 11 – Ventil, 12 – Víko, 13, 14, 15, 19 – Těsnění, 16, 17 – Pružina, 18 – Uvol. kroužek, 20 – Rozpěrné pouzdro, 21, 22, 23, 24 – O – kroužek, 25 – Poj. kroužek [3]

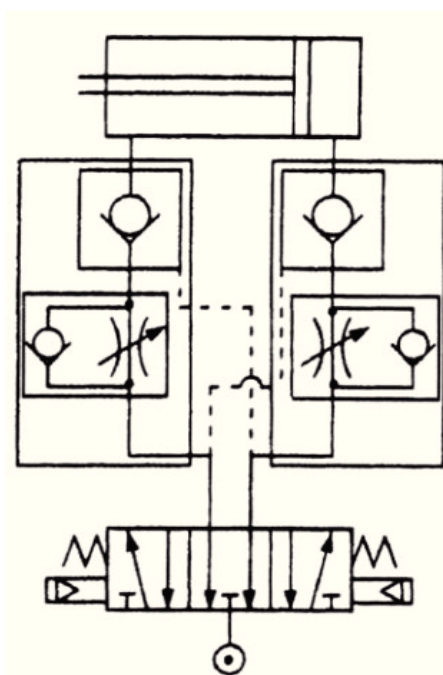
### 2.5.1 Funkce v obvodu

Díky tomuto prvku je možné řídit rychlosti a zastavení v mezipoloze nebo učinit central stop.



Obr. 2.11 Vzduchem ovládaný zpětný ventil se škrticím a zpětným ventilem, funkce v obvodu – zajištění břemene proti poklesu [3]

Pro funkci central stop je nutný rozváděč s odvzdušněnou základní polohou. Při aktivaci funkce central stop se rozváděč přestaví do základní (odvzdušněné) polohy a díky tomu se pracovní pohyb motoru zastaví v aktuální poloze.



Obr. 2.12 Vzduchem ovládaný zpětný ventil se škrticím a zpětným ventilem, funkce v obvodu – central stop [3]



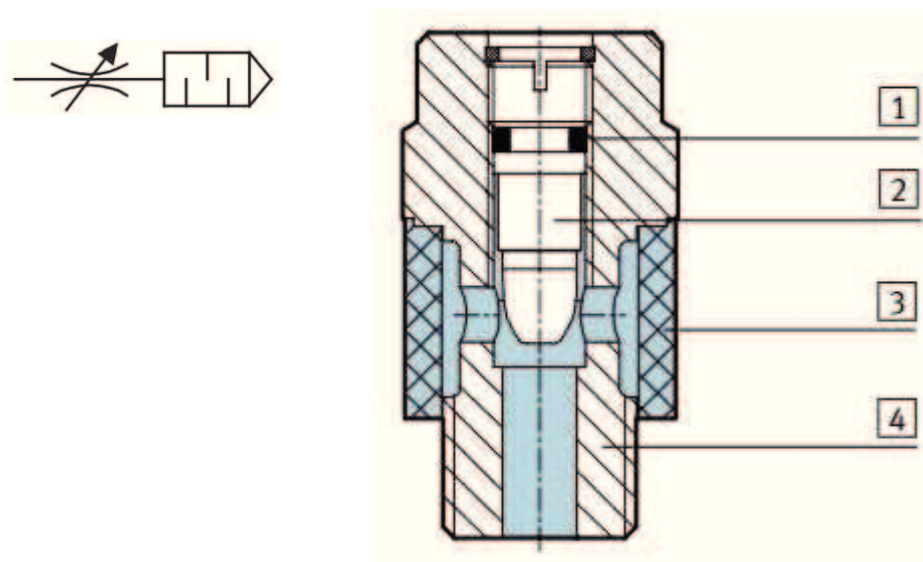
## 2.6 Škrticí ventil v kombinaci s tlumičem

Průvodním jevem činného pneumatického prvku či řízení je hluk. Tennemá žádný vliv na funkci pneumatického obvodu, a proto je možné jeho úroveň snížit pomocí tlumiče. Snížení úrovně zvukového znečištění v provozu je žádoucí z důvodu zdraví obsluhy obvodu.

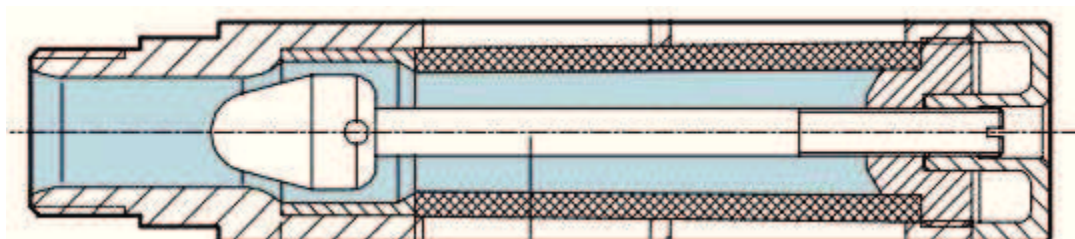
Pro tlumení hluku se používají konstrukce z plastů, spékaného bronzu, nerezové oceli, plsti, také kovová vata, polyetylén, PTFE a silikon.

Pokud se tlumič zkombinuje se škrticím ventilem, je možno realizovat škrcení na výstupu. Tlumiče se instalují pomocí šroubení nebo nástrčně.

### 2.6.1 Konstrukce

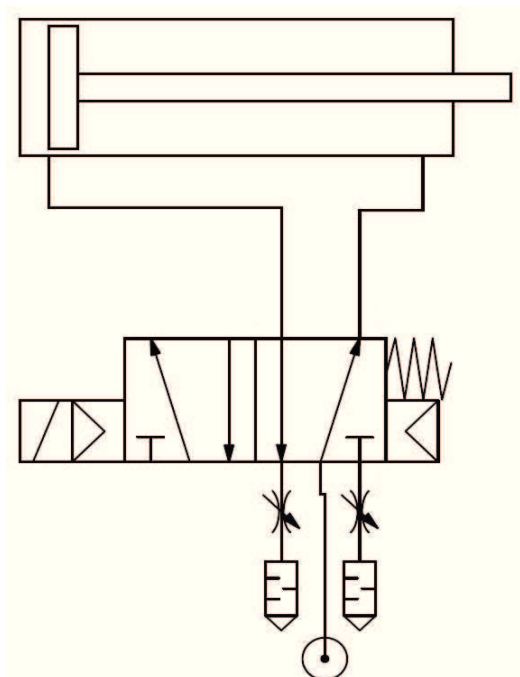


Obr. 2.13 Funkční řez kombinovaným škrticím ventilem s tlumičem hluku od firmy FESTO a značka, model GRE; 1 - Těsnění, 2 - Seřizovací šroub, 3 - Tlumení, 4 - Těleso [5]



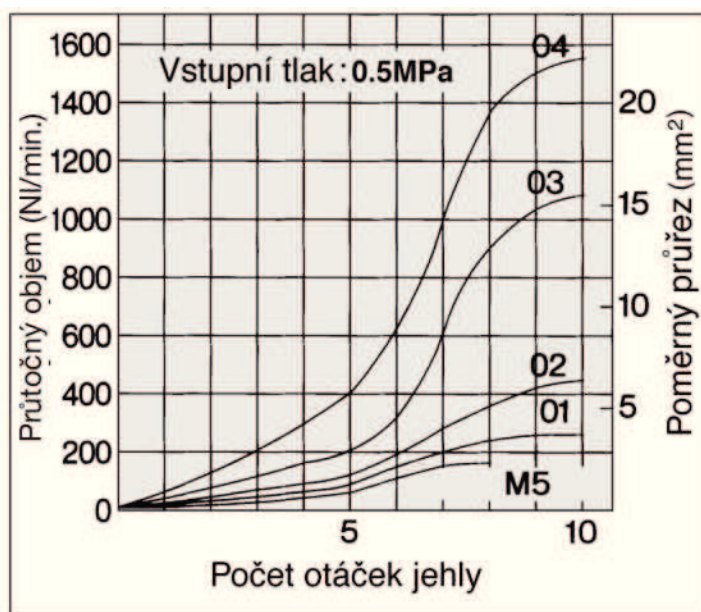
Obr. 2.14 Funkční řez kombinovaným škrticím ventilem s tlumičem hluku od firmy FESTO, model GRU [5]

### 2.6.2 Schéma zapojení v obvodu



Obr. 2.15 Schéma zapojení škrticího ventilu v kombinaci s tlumičem hluku do obvodu, zde na výstupu z rozváděče

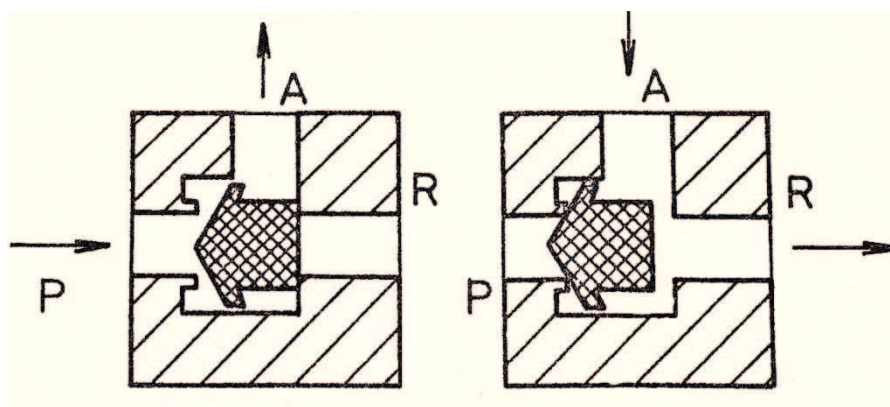
### 2.6.3 Charakteristiky – průtočný objem



Obr. 2.16 Průtočný objem ventilem a proměnný průřez závislý na počtu otočení jehly; čísla M5 až 04 udávají velikost ventilu (provedení SMC) [3]

## 2.7 Škrticí ventil v kombinaci s rychloodvzdušňovacím ventilem

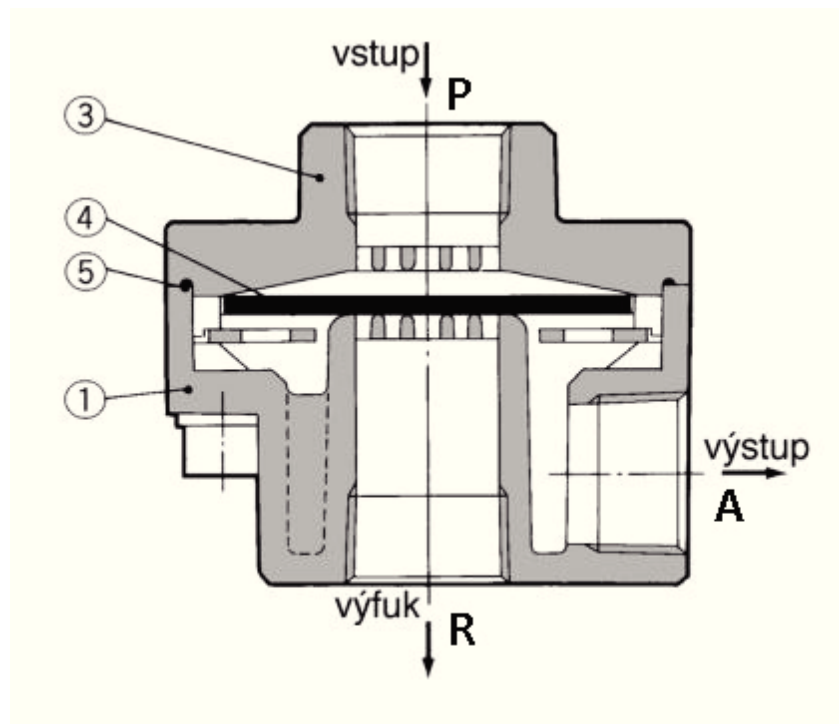
Rychloodvzdušňovací ventily se řadí mezi specializované řídicí prvky hradícího typu. Jejich funkce spočívá v rychlém propojení naplněného pracovního prostoru pneumatického motoru s atmosférou. Jinými slovy „pomáhají rychlým odvzdušněním zvýšit rychlost pístu ve válcích“. [8] Díky tomu je dosaženo rychlejšího návratu pneumatického motoru do jeho výchozí polohy. Ventil je obecně třístavový Obr. 2.17, kde vstup P je přívodem stlačeného vzduchu, A je výstup k motoru a R značí výstup vzduchu do atmosféry. V závislosti na aktuální pracovní „poloze“ se vývody P a R střídavě uzavírají. [2]



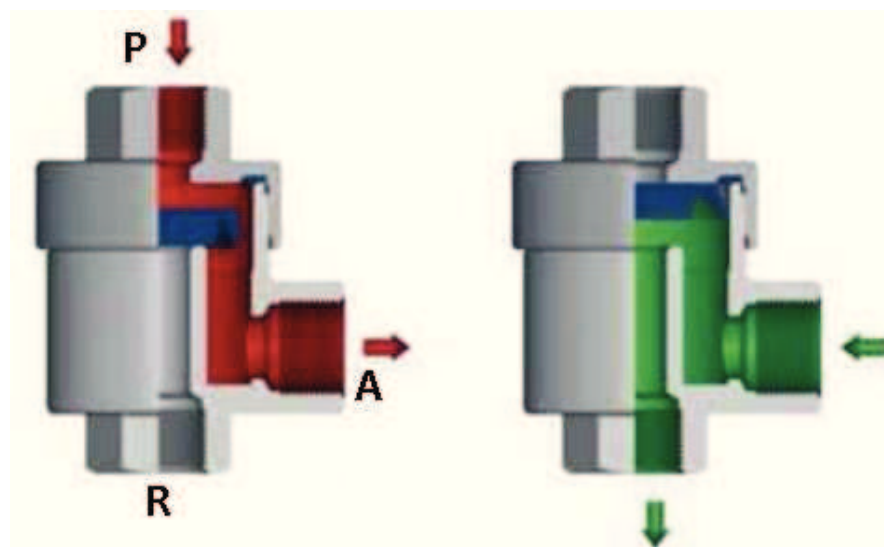
Obr. 2.17 Rychloodvzdušňovací ventil, schema [2]

Modifikací tohoto řešení je použití membrány namísto kuličky Obr. 2.18. Poté je funkce následující: přivádíme-li stlačený vzduch do přívodního kanálu ventilu P, membrána rychloodvzdušňovacího ventilu se vzniklým tlakem přitlačí na sedlo odvzdušňovacího kanálu R a zároveň se okraje membrány prohnou tak, že je umožněn průchod proudícího vzduchu kanálem A do pneumatického motoru.

Při dojezdu pístu do koncové polohy nebo při jeho zastavení se tlaky v těle ventilu vyrovnají a to způsobí vyrovnávání membrány do vodorovné polohy. Její okraje dosednou na sedlo přívodního kanálu P. Po přestavění rozváděče se přívodní kanál ventilu odvzdušní. Z druhé strany membrány začne působit tlak, který je v pneumatickém motoru a způsobí prohnutí membrány do sedla přívodního kanálu P. Tím se přívodní kanál uzavře a současně se otevře odvzdušňovací kanál ventilu R. V této fázi se realizuje rychlé odvzdušnění pístu tím, že otevřený kanál R vede přímo do atmosféry. [1]

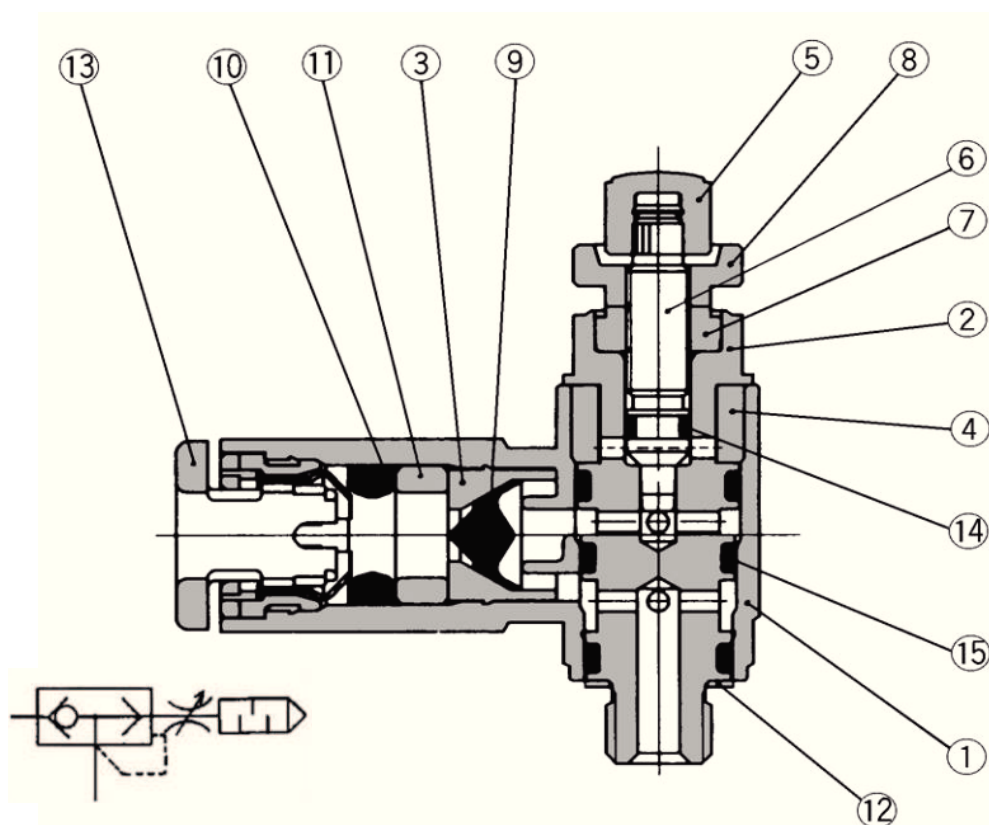


Obr. 2.18 Konstrukce rychloodvzdušňovacího ventilu, model EAQ2000 od firmy SMC;  
 1 – Tělo, 2 – Vedení, 3 – Kryt, 4 – Ventil, 5 – O-kroužek [3]

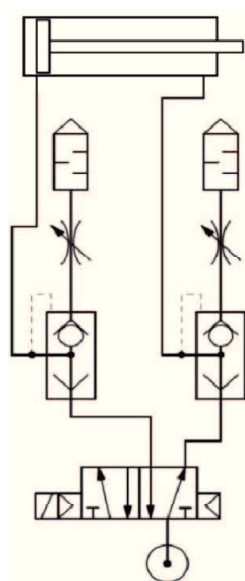


Obr. 2.19 Konstrukce rychloodvzdušňovacího ventilu, model MV 27 od firmy STASTO  
 Automation [6]

## 2.7.1 Konstrukce



Obr. 2.20 Škrticí ventil s rychloodvzdušňovacím ventilem, model ASV120F od firmy SMC a značka, 1 – Těleso A, 2 – Těleso B, 3 – Těsnicí kroužek, 4 – Tlumič hluku, 5 – Točítko, 6 – Regulační jehla, 7 – Vedení regulační jehly, 8 – Přítužná matice, 9 – Ventil, 10 – Těsnění, 11 – Rozpěrné pouzdro, 12 – Těsnění, 13 – Uvolňovací kroužek, 14 a 15 – O – kroužek [3]



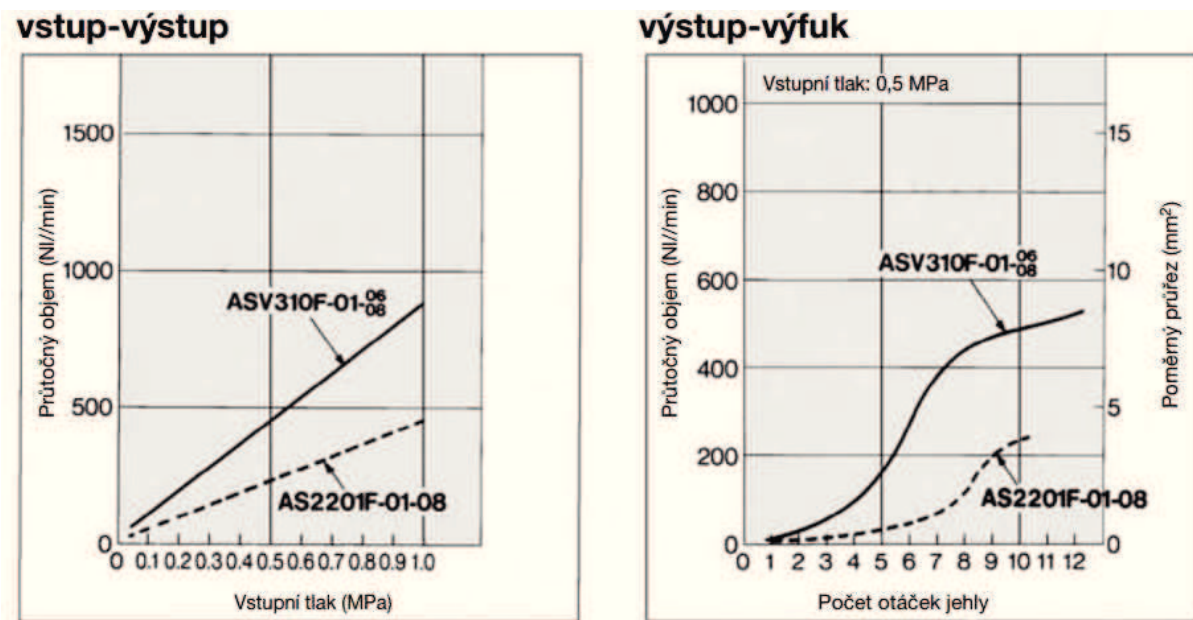
Obr. 2.21 Schéma zapojení rychloodvzdušňovacího ventilu



## 2.7.2 Charakteristiky – průtočný objem

Používají se grafy dvojího typu. Vstup – výstup: zachycuje závislost průtočného objemu a proměnného průřezu na počet otáček jehly.

Výstup – výfuk: znázorňuje závislost průtočného objemu na výstupním tlaku.

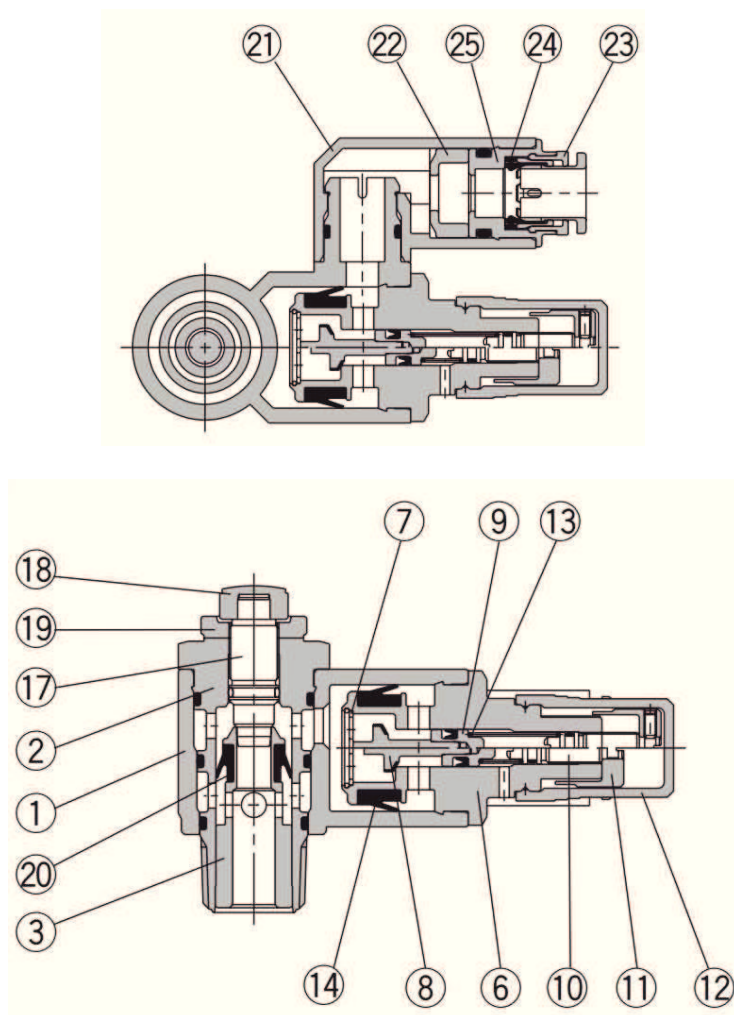


Obr. 2.22 Průtočný objem, model ASV310F od firmy SMC. [3]

## 2.8 Ventily pro úsporu stlačeného vzduchu s funkcí regulace tlaku a průtoku

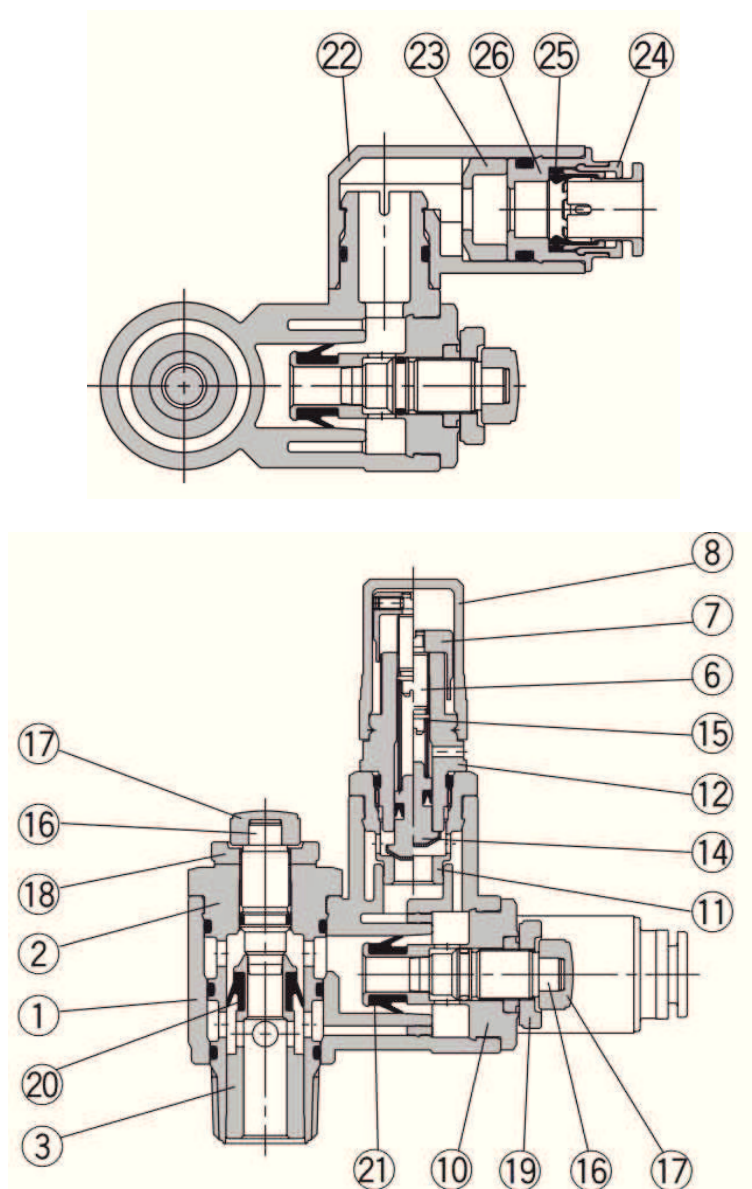
Výrobce tohoto systému je firma SMC. Regulátor tlaku – ASR, regulátor průtoku – ASQ. Ventily ASR i ASQ se vyrábějí ve dvou variantách a to v provedení s konstantním nebo nastavitelným tlakem.

### 2.8.1 Konstrukce ventilu tlaku ASR s nastavitelným tlakem



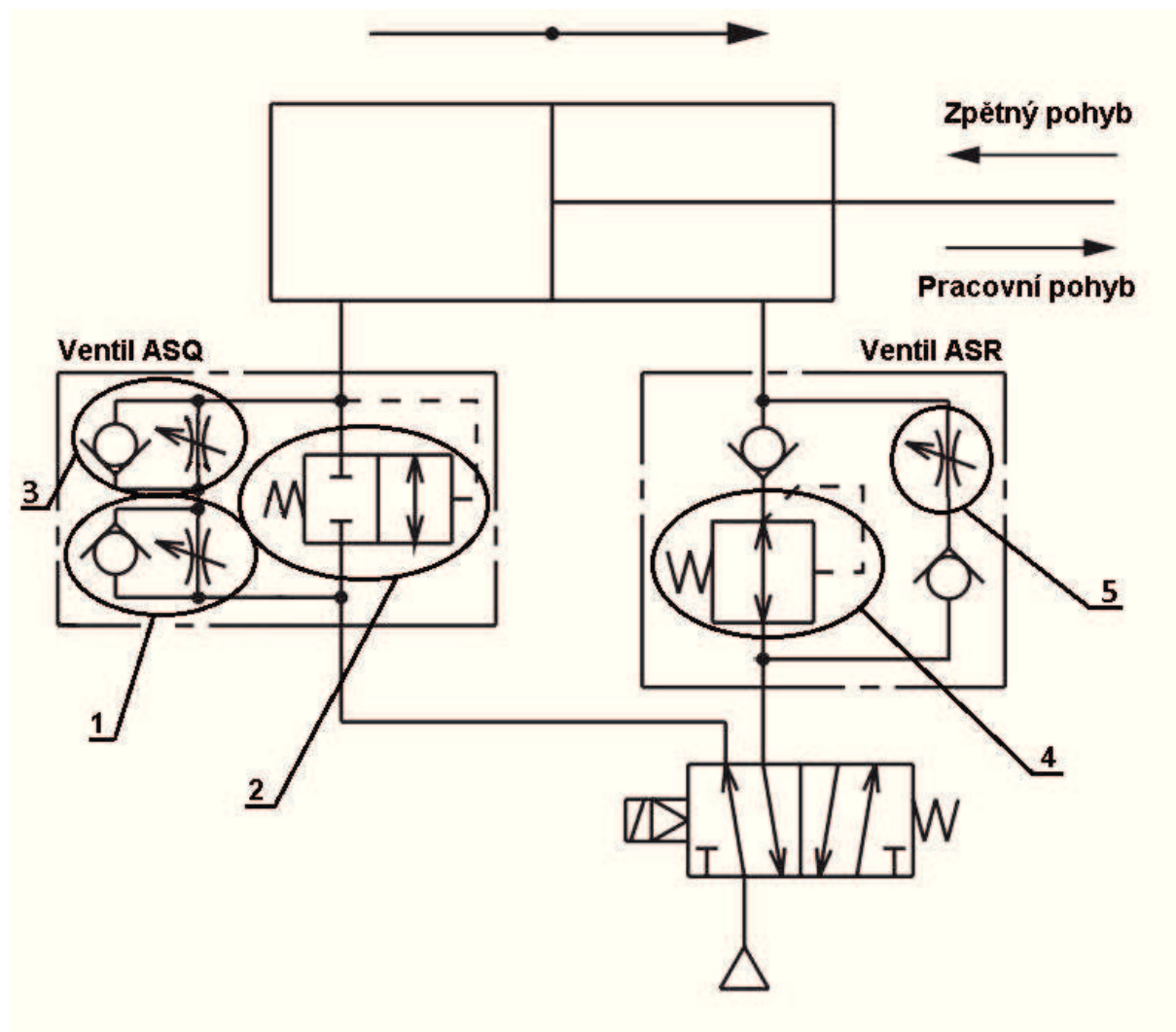
Obr. 2.23 Konstrukce ventilu tlaku ASR s nastavitelným tlakem, od firmy SMC, 1 – Tělo A, 2 – Tělo B, 3 – Kroužek sedla, 4 – Tělo B1, 5 – Tělo B2, 6 – Tělo C, 7 – Doraz, 8 – Ventil, 9 – Píst, 10 – Šroub, 11 – Točítka, 12 – Krytka, 13 – Pružina, 14 – U manžeta, 15 – Tělo C, 16 – Zátka, 17 – Jehla, 18 – Točítka, 19 – Přítužná matice, 20 – U manžeta, 21 – Tělo, 22 – Mezikus, 23 – Kazeta, 24 – Těsnění, 25 – Posuvné tělo [3]

## 2.8.2 Konstrukce ventilu průtoku ASQ s nastavitelným tlakem



Obr. 2.24 Konstrukce ventilu průtoku ASQ s nastavitelným tlakem, od firmy SMC,  
 1 – Tělo A, 2 – Tělo B, 3 – Kroužek sedla, 4 – Tělo B1, 5 – Tělo B2, 6 – Šroub, 7 – Točítko,  
 8 – Krytka, 9 – Pružina, 10 – Tělo C, 11 – Tělo D1, 12 – Tělo D2, 13 – Tělo D3,  
 14 – Pístový ventil, 15 – Pružina, 16 – Jehla, 17 – Točítko, 18 – Přítužná matice,  
 19 – Přítužná matice, 20 – U manžeta, 21 – U manžeta, 22 – Tělo, 23 – Mezikus,  
 24 – Kazeta, 25 – Těsnění, 26 – Posuvné tělo [3]

### 2.8.3 Funkce v obvodu a zapojení v obvodu



Obr. 2.25 Zapojení ventilů ASR a ASQ v obvodu, 1 – Prevence rázů, 2 – Rychlý přívod vzduchu a rychlé odvzdušnění, 3 – Škrčení na výstupu při zasouvání pístnice, 4 – Snížený tlak, 5 – Škrčení na výstupu při vysouvání pístnice

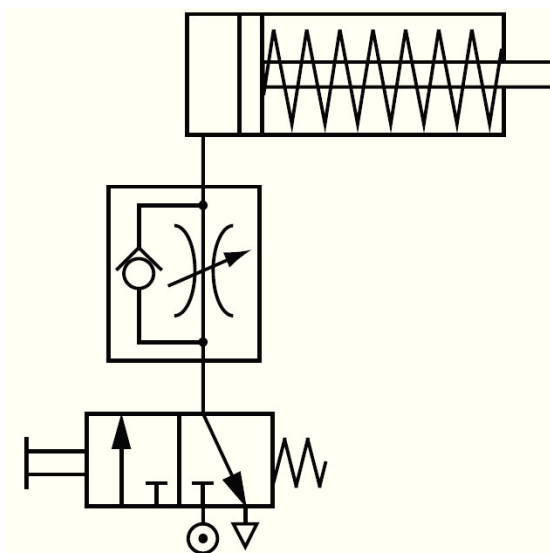
Rozjezd válce je pozvolný, protože rázy jsou eliminovány škrčením na vstupu, a to díky ventilu 1. Po dosažení tlaku nastaveného na „skokovém“ ventilu se tento otevře a válec je plněn bez škrčení. Do poklesu tlaku nastaveného na „skokovém“ ventilu proudí plný průtok, poté se „skokový“ ventil přestaví a škrčení na výstupu se realizuje pomocí škrťacího ventilu 3 – tím dojde k dotlumení pohybu. Válec se vrací do výchozí polohy sníženým tlakem, což má za následek úsporu stlačeného vzduchu.[3]Škrťací ventil 5 umožňuje škrčení na výstupu při vysouvání pístnice.

### 3 ZAPOJENÍ DO OBVODU A VLIV NA CHARAKTERISTIKY

#### 3.1 Škrčení vzduchu na vstupu do válce

Abychom škrtili na vstupu do pneumatického motoru, je potřeba zapojit škrticí ventil v kombinaci s jednosměrným ventilem tak, aby při proudění stlačeného vzduchu do motoru byl jednosměrný ventil v uzavřené poloze. To zapříčiní, že proudící vzduch bude protékat přes škrticí ventil. Velikost proudícího vzduchu nastavujeme klasicky na těle škrticího ventilu pomocí šroubu. Při zpětném pohybu pístu, kdy je vyprazdňován pracovní prostor pístu, se vzduch vydá cestou menšího odporu – bude protékat otevřeným jednosměrným ventilem.

Nevýhodou zapojení škrčení na vstupu do válce je absence kompenzace zatížení pístnice tzv. pneumatickou zátěží. Proto se velmi obtížně dosahuje konstantní rychlosti vysouvání pístnice. Používá se proto jen u podřadných či pomocných funkcí. Nejčastěji v kombinaci s jednočinným nebo dvojčinným pneumatickým válcem malého objemu. [1][2]

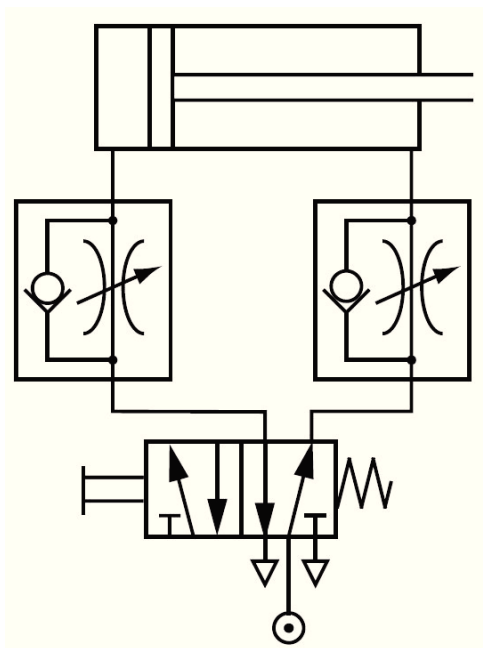


Obr. 3.1 Schéma obvodu se škrčením vzduchu na vstupu do jednočinného válce [1]

### 3.2 Škrčení vzduchu na výstupu z válce

Při škrčení vzduchu na výstupu z válce jsou škrťací ventily v kombinaci s jednosměrnými ventily zapojeny tak, že stlačený vzduch přiváděn do prostoru pístu proudí bez škrčení – protéká přes otevřený jednosměrný ventil. Ve stlačovaném prostoru pístnice se vytvoří vzduchový polštář, který vznikl paralelním zapojením škrťacího a jednosměrného ventilu na výstupu z válce. Zde je ventil zapojen tak, aby odcházející vzduch procházel přes škrťací ventil, jehož otevření můžeme regulovat pomocí šroubu s kuželovou jehlou na konci. Vzniklý tlak v prostoru pístnice vyvolá tzv. pneumatickou zátěž. Čím větší je pneumatická zátěž, tím lépe je regulovatelná rychlost pístnice.[1]

Jak je patrné z Obr. 3.3 a 3.4, při škrčení na výstupu z válce lze dosáhnout konstantní rychlosti v průběhu zdvihu. Díky tomuto faktu je škrčení na výstupu hojně využíváno u dvoučinných pneumatických motorů, které mohou být i velkoobjemové. Naproti tomu, při škrčení na vstupu do motoru je prostor na druhé straně pístu odvzdušněn a nevzniká tak pneumatická zátěž, díky čemuž se může rychlost v průběhu zdvihu výrazně měnit. [1][2]

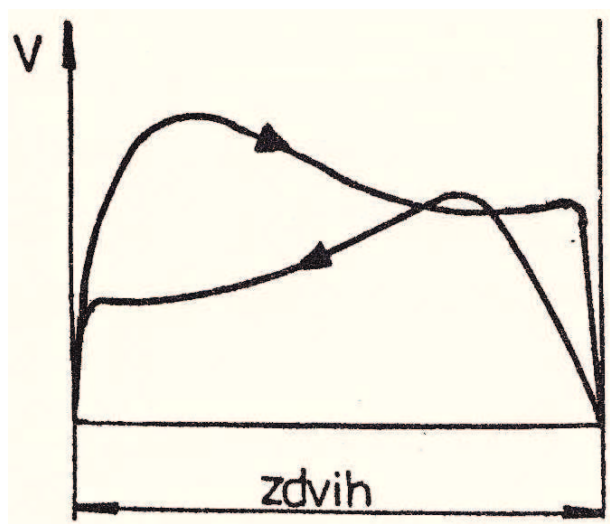


Obr. 3.2 Schéma obvodu se škrčením vzduchu na výstupu z dvojčinného válce [1]

V literatuře se objevují i další možnosti škrčení (např. na vstupu i výstupu zároveň) ale z důvodu rozsahu práce jsem se zaměřil pouze na dvě nejrozšířenější nastavení, a to na nastavení výše popsaná. Tyto dva případy budou experimentálně ověřeny v další části práce.

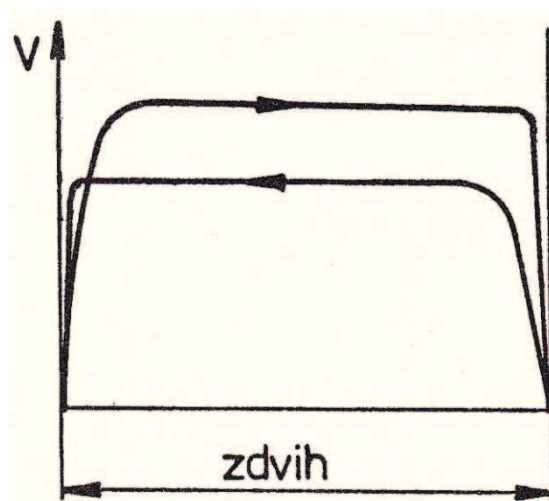
### 3.3 Charakteristiky rychlosti pohybu válce

#### 3.3.1 Škrčení na vstupu u přímočarého válce



Obr. 3.3 Charakteristika rychlosti vysouvání válce při škrčení na vstupu [2]

#### 3.3.2 Škrčení na výstupu u přímočarého válce

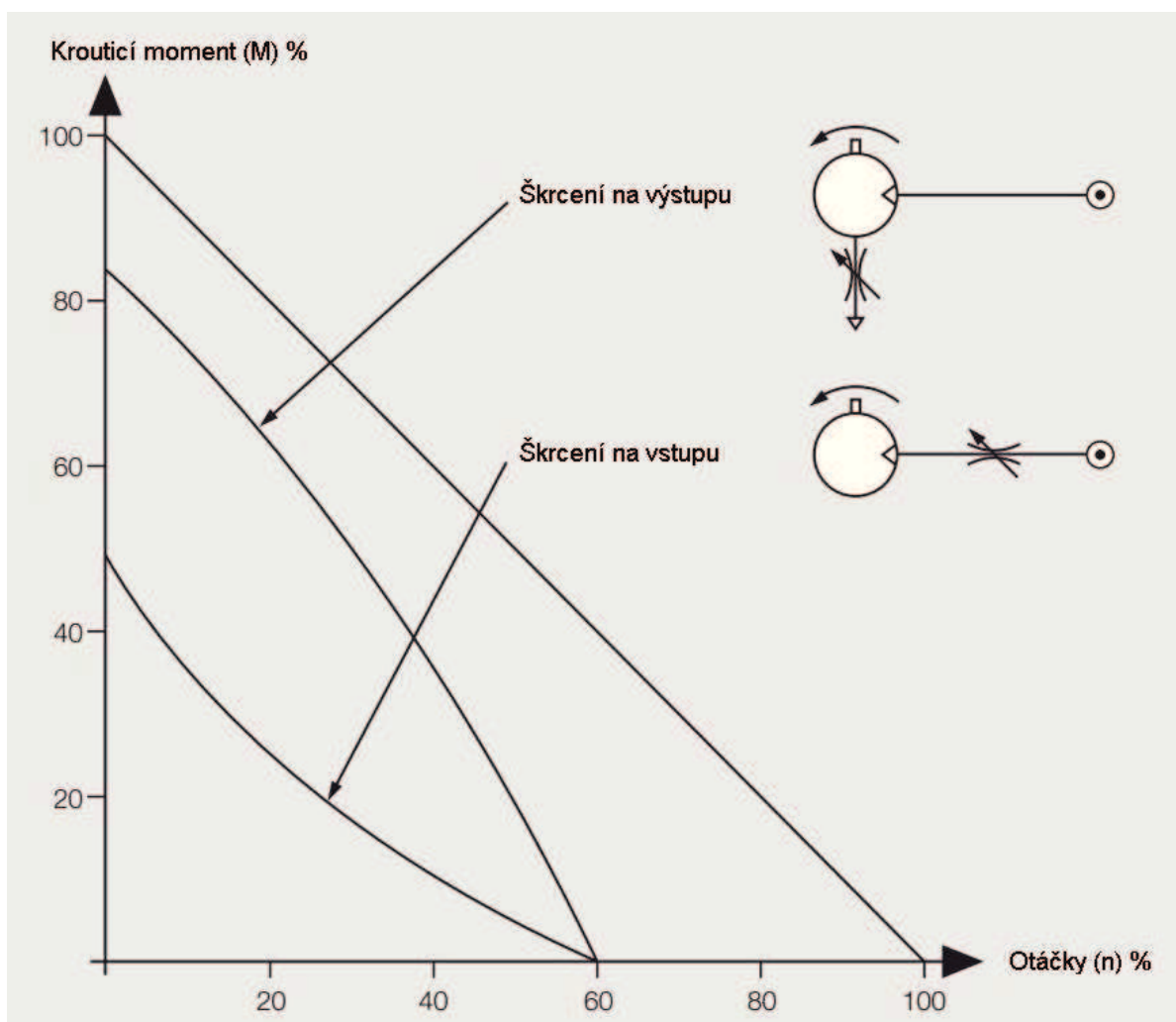


Obr. 3.4 Charakteristika rychlosti vysouvání válce při škrčení na výstupu [2]



### 3.3.3 Škrčení na vstupu a výstupu u rotačního pneumatického motoru

Umístění ŠV pro regulaci rychlosti otáček u rotačních motorů může mít výrazný vliv na průběh momentové charakteristiky. Příklad je uveden na Obr. 3.5. Tento graf uvádí ve svých podkladech firma Deprag, která se zabývá výrobou ručního pneumatického nářadí. Z důvodu rozsahu práce jsem se touto problematikou nezabýval.



Obr. 3.5 Charakteristiky rotačního pneumatického motoru, škrčení na vstupu a výstupu [7]

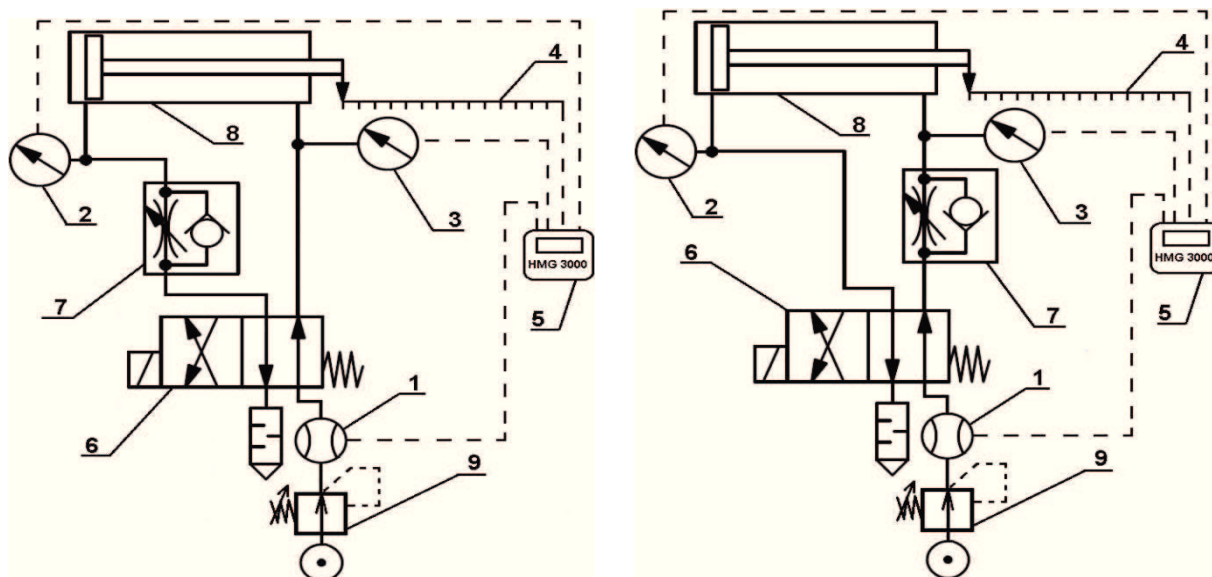


## 4 POPIS MĚŘÍCIHO OBVODU

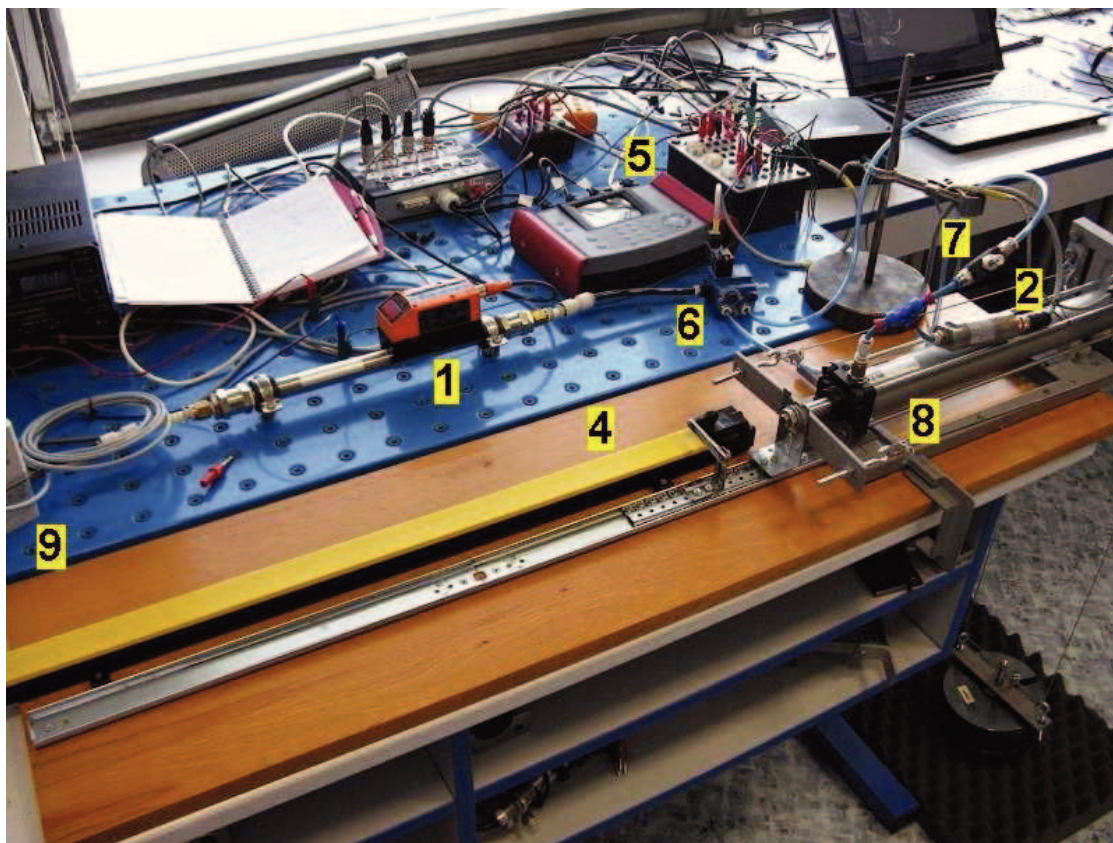
Aby bylo možné změřit rozdílné průběhy charakteristik při škrcení na vstupu do válce a výstupu z válce, bylo nutné sestavit jednoduchý pneumatický obvod. Tento obvod se skládal z redukčního ventilu, rozváděče, škrticího ventilu v kombinaci s jednosměrným ventilem a pneumatického motoru. Dále byly k obvodu připojeny měřicí zařízení v podobě průtokoměru, manometrů, záznamového zařízení a pozičního snímače. Celý obvod byl propojen plastovými hadičkami. Od zdroje stlačeného vzduchu až k rozváděči byly použity hadičky o průměru  $d=5$  mm, dále pak od rozváděče k pneumatickému motoru hadičky o světlosti  $d=4$  mm. Délka hadiček zařazených mezi rozváděč a pneumatický motor byla rovna  $l=0,5$  m. Hmotnou zátěž, kterou byl pneumatický motor zatěžován, představuje sada závaží o celkové hmotnosti  $m=10,335$  kg. Velmi podobný obvod je uveden v publikaci profesora Beatera. [9]

Pro mé měření bylo velmi důležité zapojení manometrů před vstupem do prostoru pístu a za výstupem z prostoru pístnice.

### 4.1 Schéma měřícího obvodu a popis prvků



Obr. 4.1 Schéma měřícího obvodu – obrázek vlevo je pro škrcení na vstupu, vpravo je škrcení na výstupu, 1 - Průtokoměr, 2, 3 – Manometr, 4 – Snímač pozice, 5 – Záznamové zařízení, 6 – Rozváděč, 7 – Škrticí a jednosměrný ventil, 8 – Pneumatický motor, 9 – Redukční ventil



*Obr. 4.2 Fotodokumentace (reálná situace zapojení obvodu)*

1. Průtokoměr SD6000 od firmy IFM. Pracuje na principu snímání teploty rozžhaveného drátu, který je ochlazován proudícím vzduchem. Tlakový rozsah je  $0 \div 1,6$  MPa a výstupní signál je  $4 \div 20$  mA. Maximální průtok činí  $Q=1250$   $\text{l.min}^{-1}$  a přesnost  $\pm 3,3$  %.
- 2;3 Použité snímače tlaku jsou od firmy Hydrotechnik, model PR15. Měřicí rozsah je  $-0,1 \div 0,6$  MPa a výstupní signál je  $4 \div 20$  mA. Přesnost  $\pm 0,2$  % z výsledné hodnoty.
4. Poziční senzor Li800P0 - Q25LM0 – HESG25X3 – H1181 je výrobkem firmy Turck. Měřicí rozsah je  $0 \div 0,8$  m, přesnost  $- 0,001$  m, digitální výstup dat s výstupním signálem v rozmezí od  $0 \div 10$  V.
5. Záznamové zařízení – HYDAC HMG 3000. Přístroj je vybaven celkem deseti vstupy, z toho dvěma frekvenčními a osmi analogovými. Díky vestavěné vnitřní paměti o velikosti 64MB je možné zaznamenat velké množství měřených dat. K detailnímu prohlédnutí naměřených dat jsem používal program HMGWIN.

6. Rozváděč – Bosch Rexroth model 579. Konstrukce rozváděče je 5/2, který je sestaven ze dvou 3/2 sedlových ventilů. Pracovní tlak je  $p=0,2\div0,8$  MPa. Maximální průtok odpovídá hodnotě  $Q=520\text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$ .
7. Škrticí a jednosměrný ventil – Bosch Rexroth model CC01 - 5341121100. Jedná se o provedení s kovovým tělem. Pracovní tlak je v rozmezí od  $p=0,05$  MPa do  $p=1$  MPa. Maximální průtok je  $Q = 100\text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$ . Nastavení škrticího ventilu se realizuje pomocí šroubu, kdy deset otáček šroubu od uzavřené pozice odpovídá průtoku zhruba  $Q=15\text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$ .
8. Pneumatický motor – SMC C92 SDB 40 – 500. Jedná se o dvojčinný, lineární pneumatický motor, který má průměr pístu roven  $d = 0,04$  m a délku zdvihu  $l=0,5$  m.
9. Redukční ventil – FESTO VPPE – 3 – 1 – 1/8 – 10 – 010 – E1. Jedná se o proporcionální redukční ventil s displejem a regulačním rozsahem od  $p=0,01$  MPa do  $p=1$  MPa.

## 4.2 Průběh měření a zpracování výsledků

Na začátku sady měření bylo nutné správné nastavení přístroje HMG 3000. Především se jednalo o nastavení vstupních signálů, jejich rozsahů a typů. Dále bylo potřeba všechny napojené senzory tlaků vynulovat na aktuální atmosférický tlak. Tato nastavení zůstala po zbytek měření stejná. Vzorkovací periodu jsem zvolil  $t=10$  ms.

Hlavní náplní samotného měření bylo nastavování škrticího ventilu. Pro názornost jsem volil rozsah od 10 otáček až po 18 otáček. Nastavení otáček je bráno od úplného uzavření škrticího ventilu.

V návaznosti na počet otáček bylo potřeba provést zapojení škrticího a jednosměrného ventilu do obvodu tak, aby se škrcení realizovalo na vstupu do pneumatického motoru nebo na výstupu z motoru.

Dalším důležitým parametrem měření je pracovní tlak obvodu, který jsem nastavoval pomocí proporcionálního redukčního ventilu. Díky němu byl tlak v obvodu vždy konstantní. Rozsahy tlaků jsem volil od 0,3 MPa do 0,5 MPa.

Po nastavení všech těchto atributů obvodu jsem spustil záznam měření na přístroji HMG 3000 a současně spustil obvod. Samotné spuštění záznamu na přístroji bylo realizováno elektrickým signálem od spínače, kterým se zároveň dával povel k přestavění rozváděče. Po jeho přestavění se pneumatický motor, zatížen hmotným závažím, začal vysouvat ze zasunuté pozice. Přístroj HMG 3000 zaznamenával díky napojeným senzorům tlak před vstupem do prostoru pístu a za výstupem z prostoru pístnice, aktuální polohu pístnice, průtok a čas.

Po uplynutí času záznamu (10 s) bylo potřeba naměřená data zkontrolovat v programu HMGWIN. Ten sloužil hlavně ke kontrole nastaveného tlaku, porovnání průběhů různých nastavení a zapojení ŠV, exportu dat do formátu *.txt* k správnému ukládacímu jménu souboru.

Vyexportované textové soubory jsem vkládal do programu MS Excel, ve kterém probíhalo finální zpracování dat. Jednalo se hlavně o zjištění rychlosti pohybu pístu. Díky MS Excel bylo možné vytvořit grafy zachycující průběh zdvihu, závislosti tlaků na čase, závislosti rychlosti na dráze a závislosti rychlosti na čase.

Na přiloženém CD jsou obsaženy všechny zaznamenané měření (zde v práci jsou uvedeny jen nejnázornější případy) pomocí přístroje HMG 3000, dále pak grafy

a zpracovaná data pomocí programu MS Excel. V Tab.1 je stručný přehled a popis měření jednotlivých příložených souborů.

*Tab. 4.1 Popis příložených souborů obsažených v příloženém CD*

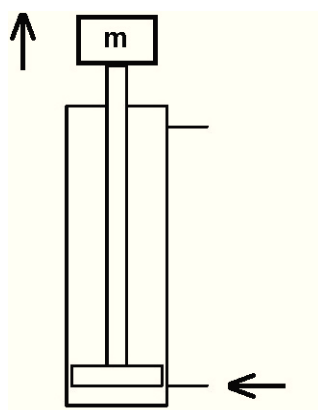
<b>Název souboru</b>	<b>Předmět měření</b>
1. Měření	ŠV je nastaven stejně, porovnávány jsou průběhy při škrcení na vstupu a výstupu
2. Měření	Při škrcení na vstupu je ŠV nastaven tak, aby byl stejný čas vysunutí jako při škrcení na výstupu
3. Měření	Vliv dlouhé hadice na průběh vysouvání, měřeno na výstupu
4. Měření	Charakteristiky při zasouvání pístu, škrceno na vstupu a výstupu
5. Měření	Charakteristiky při zapojení bez ŠV

Soubory jsou pojmenovány podle konkrétního měřeného nastavení. Jako první údaj je vždy číslo a slovo REX. Číslo udává, o kterou sadu měření se jedná. Slovo REX je synonymem pro ŠV od firmy Rexroth. Dalším údajem je počet otáček ŠV od jeho uzavřené polohy. Slovy IN a OUT je značeno škrcení na vstupu respektive výstupu a jako poslední údaj je uveden pracovní tlak v barech. Jednotlivá nastavení jsou oddělena podtržítky

Například soubor s názvem 3REX\_16ot\_OUT\_4bar.xlsx značí, že se jedná o třetí sadu měření při nastaveném ŠV na šestnáct otáček, se škrcením na výstupu a pracovním tlaku čtyři bary.

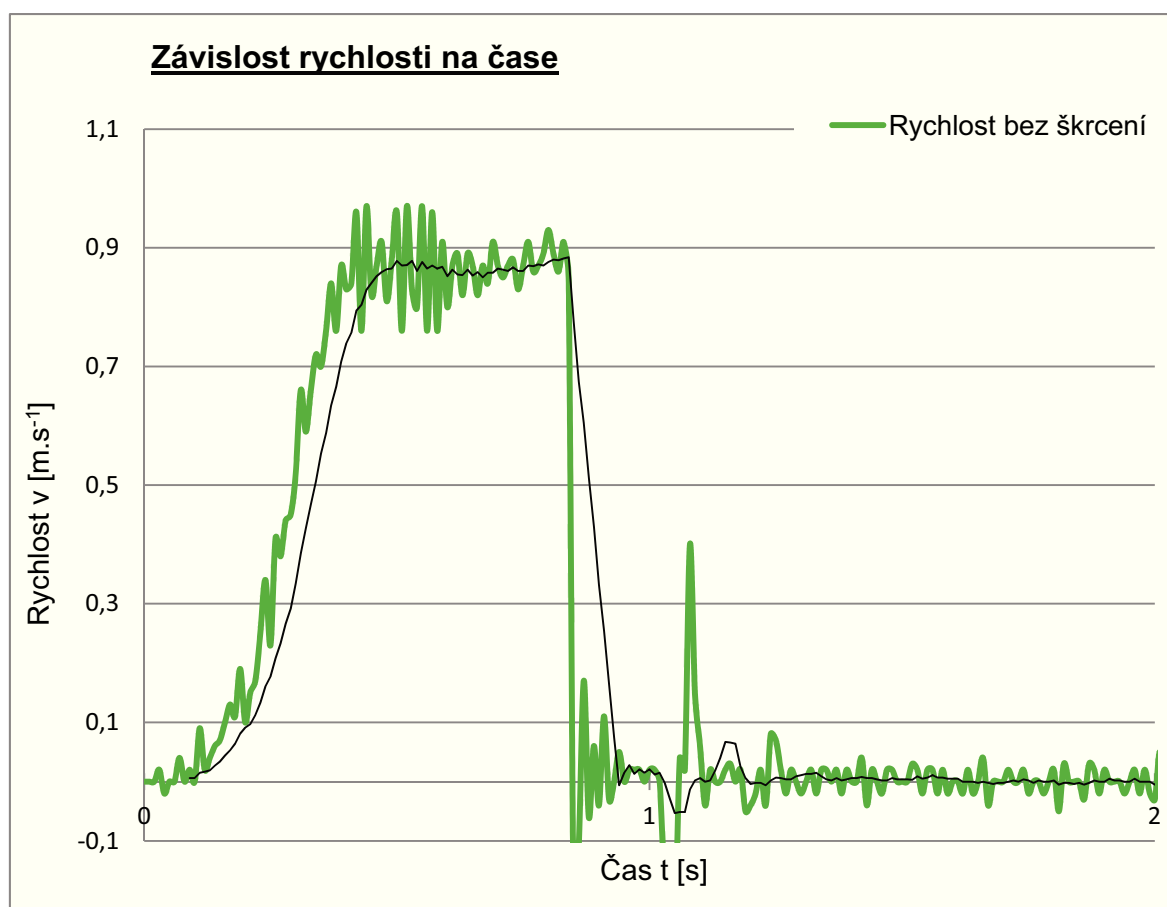
## 5 VÝSLEDKY MĚŘENÍ

### 5.1 Bez škrticího ventilu

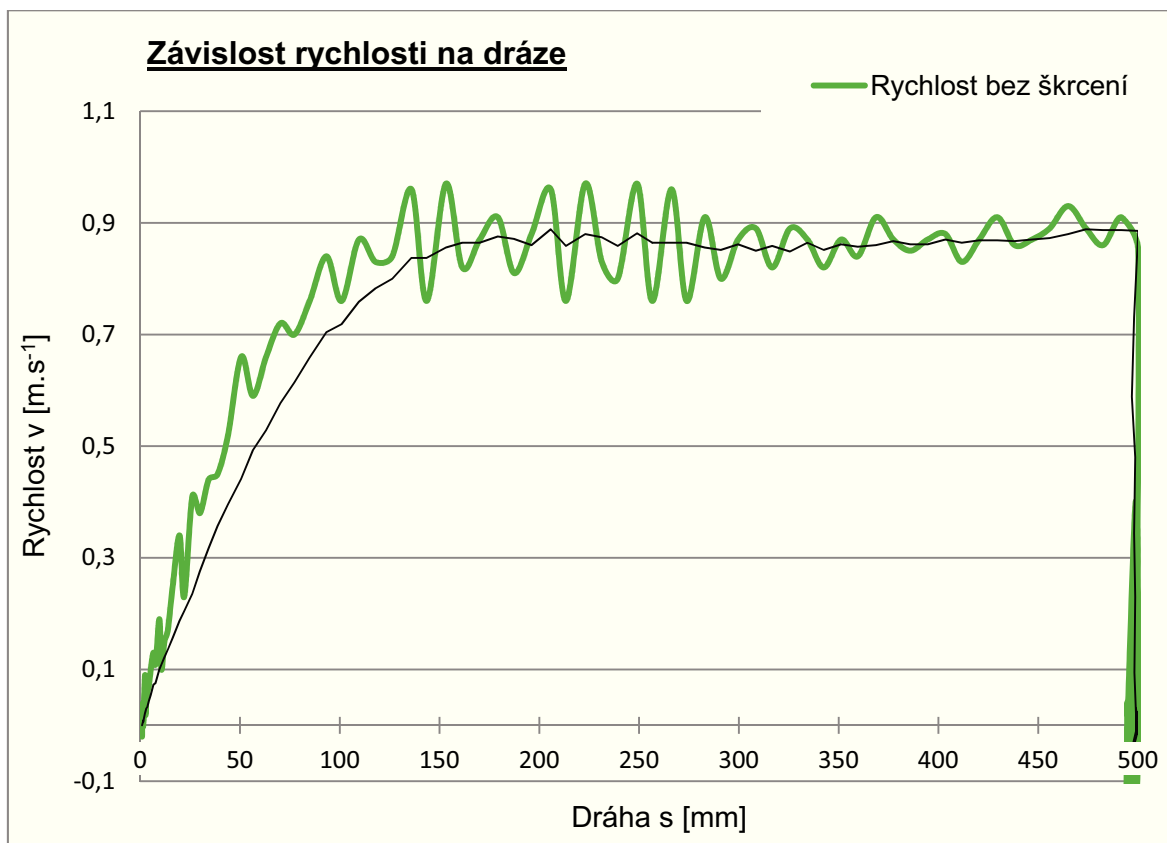


Toto měření bylo provedeno bez škrticího ventilu. Průběhy zachycují charakteristiky pneumatického motoru při neškrceném vysouvání.

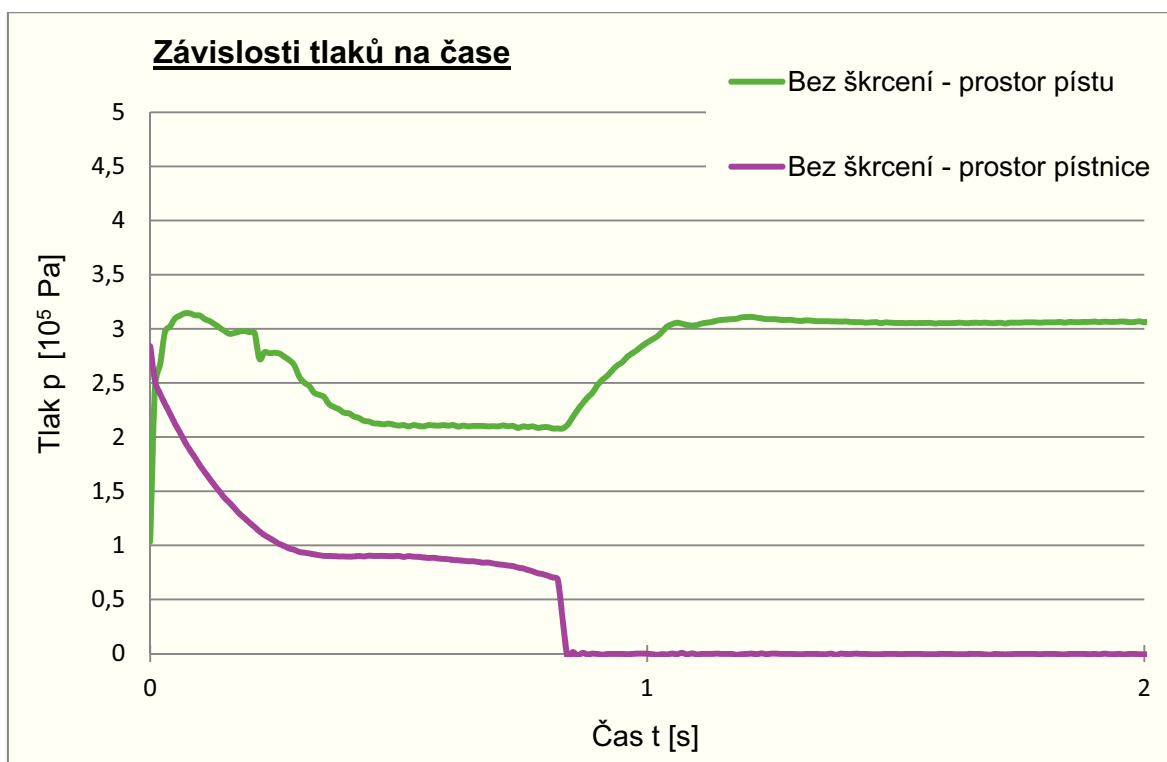
$$p = 3 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$



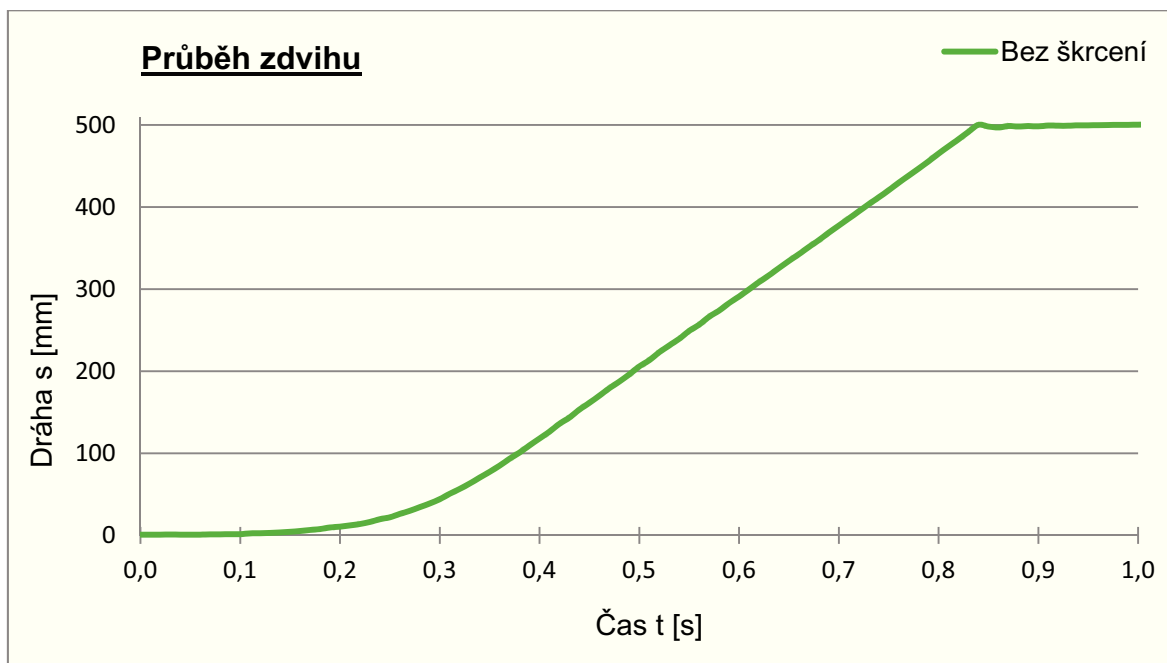
Graf 5.1 Závislost rychlosti na čase, 5. Měření,  $p=3 \cdot 10^5 \text{ Pa}$



Graf 5.2 Závislost rychlosti na dráze, 5. Měření,  $p=3 \cdot 10^5$  Pa



Graf 5.3 Závislosti tlaků na čase, 5. Měření,  $p=3 \cdot 10^5$  Pa



Graf 5.4 Průběh zdvihu, 5. Měření,  $p=3 \cdot 10^5$  Pa

Z prvního grafu lze vyčíst plynulý nárůst rychlosti při vysouvání pístnice a následné snížení rychlosti při dojezdu pístnice do koncové polohy. Ve druhém grafu je zachycen konstantní růst rychlosti až do vysunutí  $s = 200$  mm, poté se rychlost ustálí na  $v = 0,85 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . Z průběhu tlaků lze vyvodit, že prostor pístnice je v počátku zdvihu progresivně vyplňován. V oblasti, která odpovídá ustálené rychlosti je tlak téměř konstantní a při dojezdu do koncové polohy tlak klesne na nulu. Čas vysunutí je nejlépe zřejmý z grafu tlaků nebo také z průběhu zdvihu, kde tato doba nabývá hodnoty zhruba  $t = 0,84$  s.

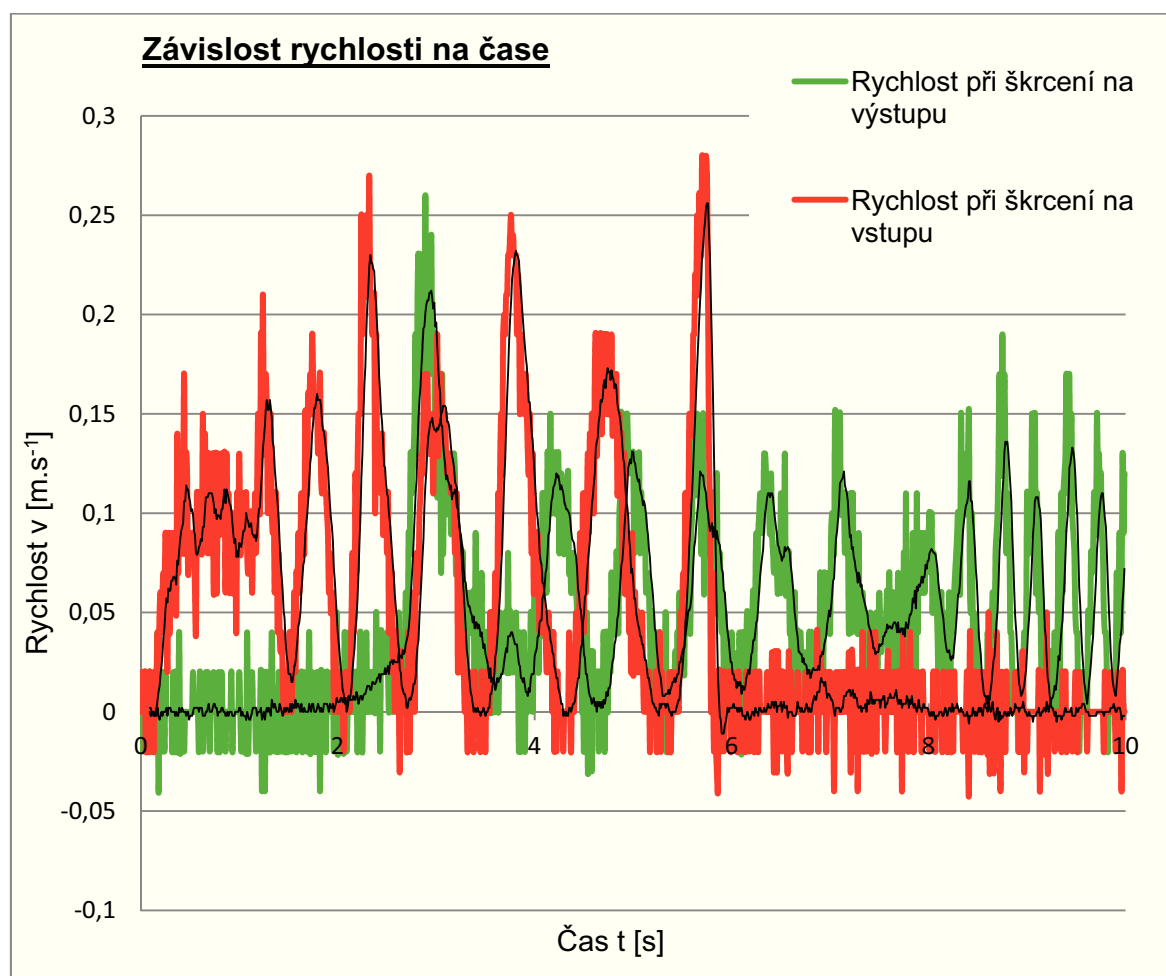
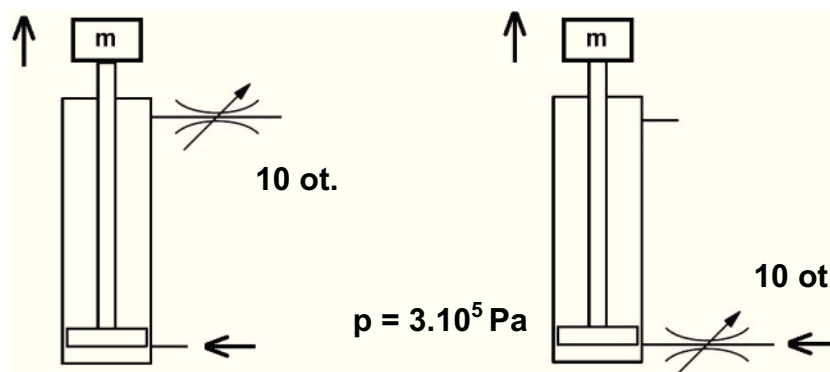
V dalších případech bude sledován čas od přestavení rozváděče po dojetí pístnice do koncové polohy. Velikosti časů však neodpovídají striktně přesné hodnotě vysunutí pístnice na hraničních  $s = 500$  mm. Uvedený čas je brán vždy jako orientační a zachycuje vysunutí pístnice po progresivním nárůstu zdvihu.



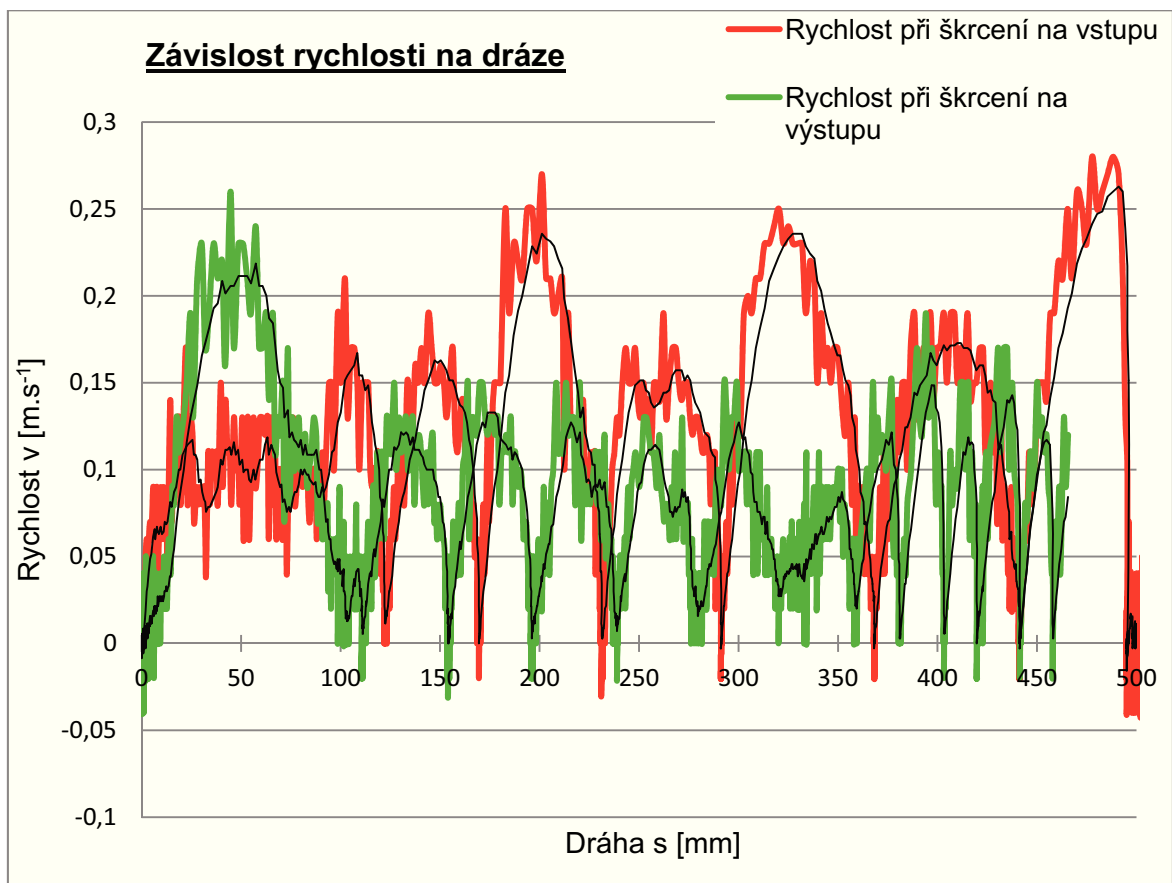
## 5.2 Škrčení na vstupu a výstupu při stejném nastavení ŠV a tlaku

Cílem 1.měření bylo porovnání rozdílnosti průběhů při škrčení na vstupu a výstupu. Nastavení ŠV a tlaku je vždy totožné pro jednu sadu měření.

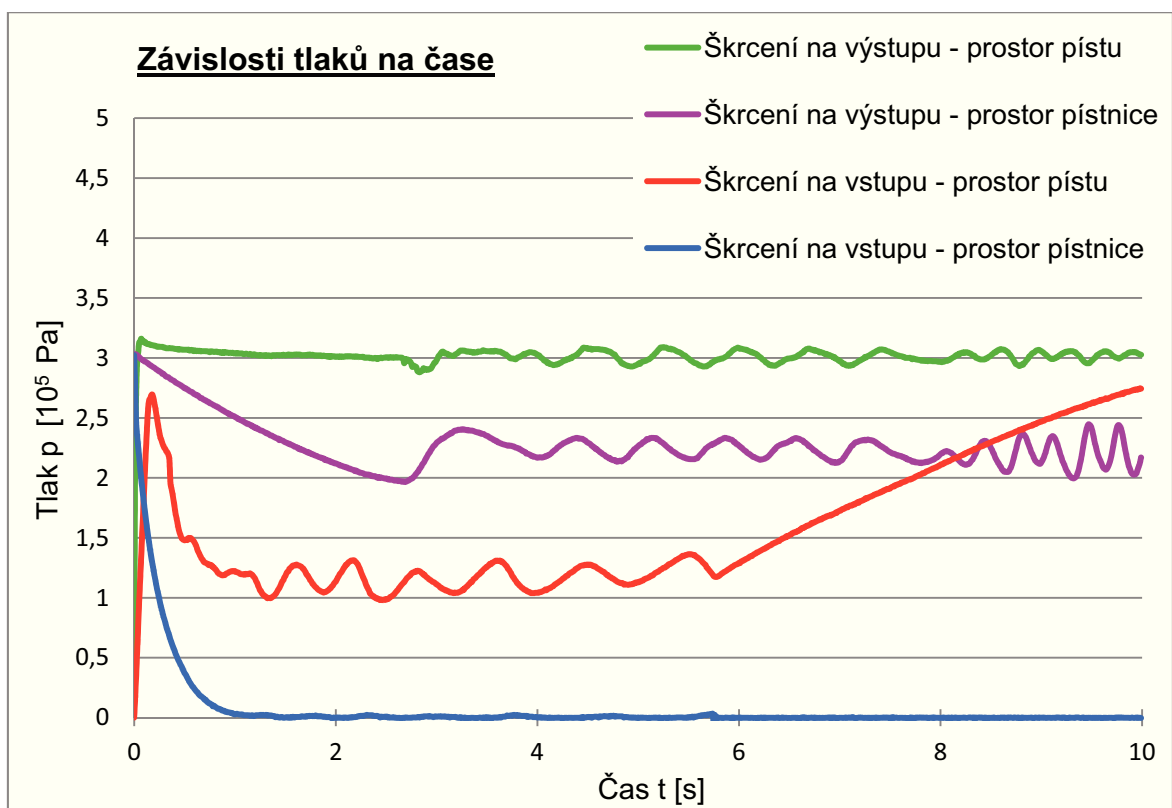
1. Nastavení – 10 ot. na ŠV při tlaku  $p = 0,3 \text{ MPa}$



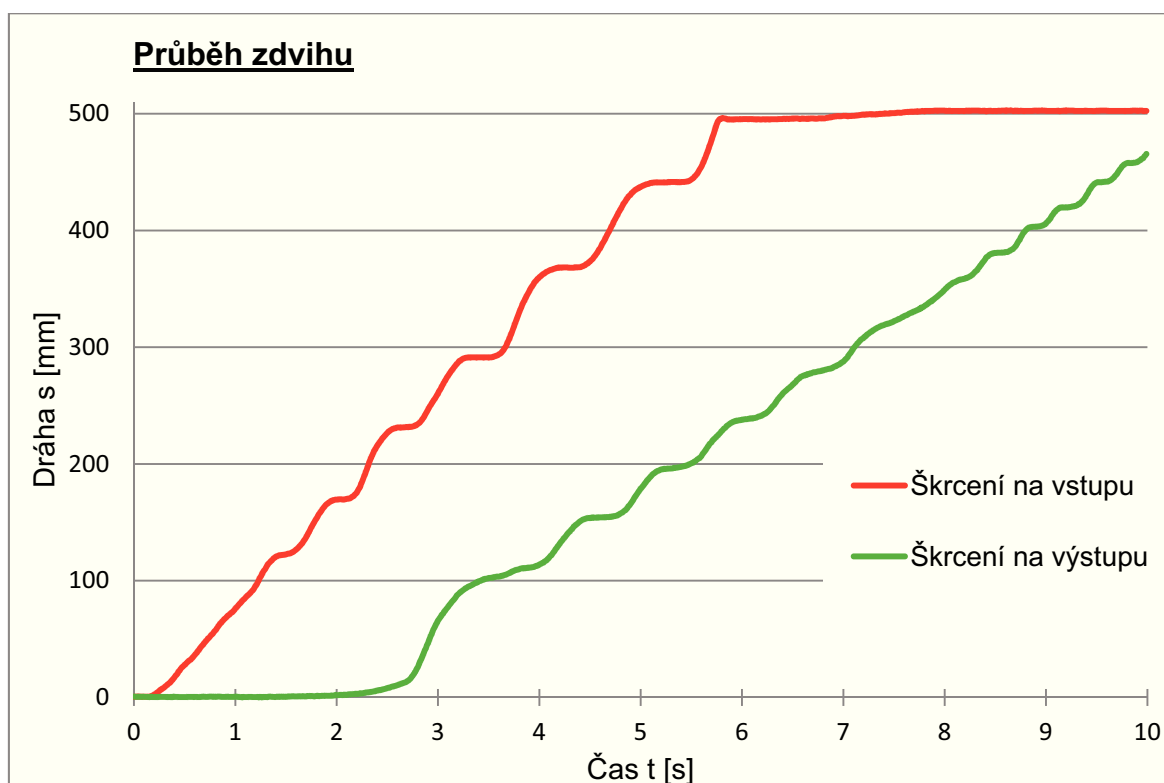
Graf 5.5 Závislost rychlosti na čase, 1. Měření,  $p = 3.10^5 \text{ Pa}$



Graf 5.6 Závislost rychlosti na dráze, 1. Měření,  $p = 3 \cdot 10^5$  Pa



Graf 5.7 Závislosti tlaků na čase, 1. Měření,  $p = 3 \cdot 10^5$  Pa



Graf 5.8 Průběh zdvihu, 1. Měření,  $p = 3 \cdot 10^5 \text{ Pa}$

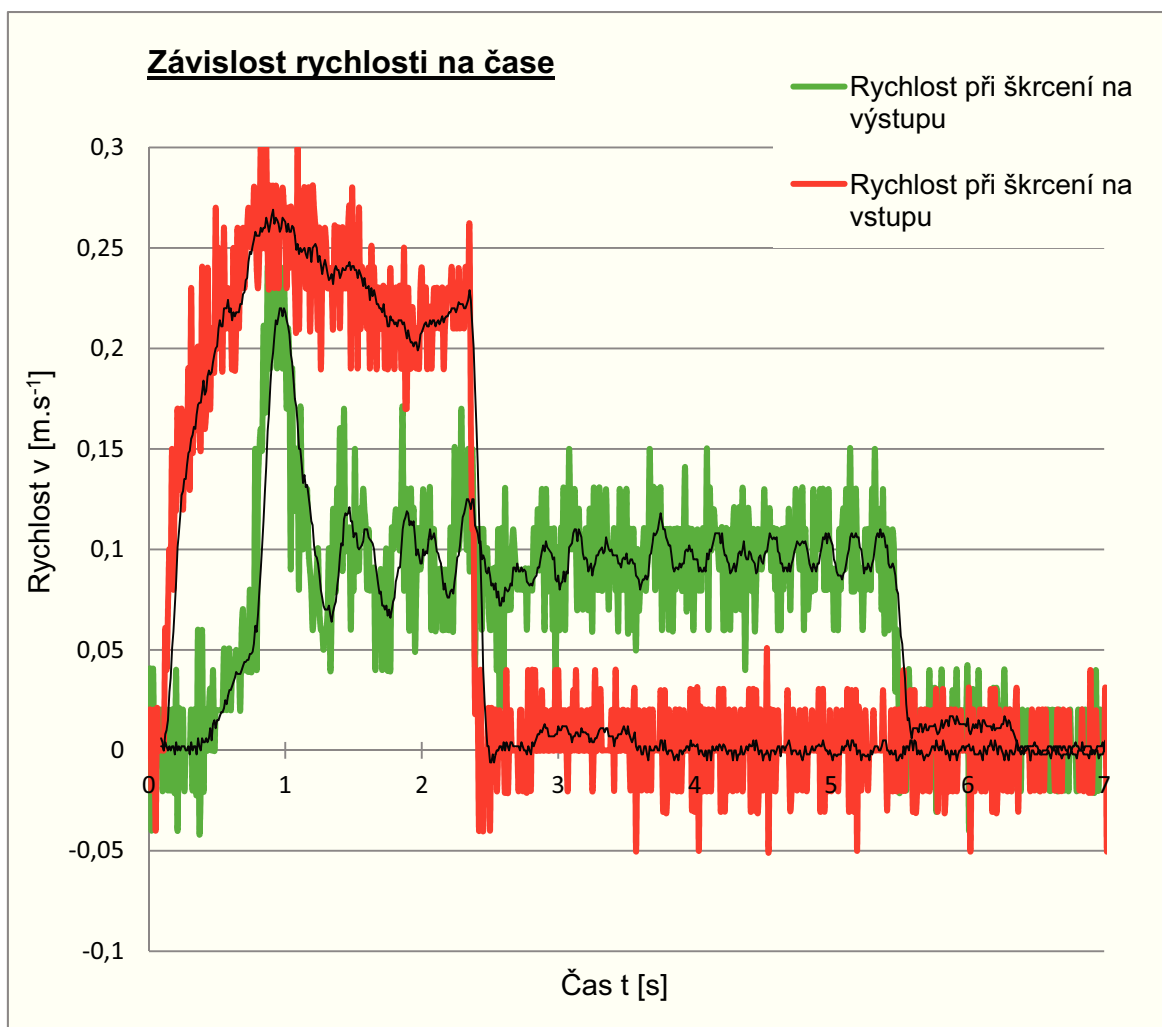
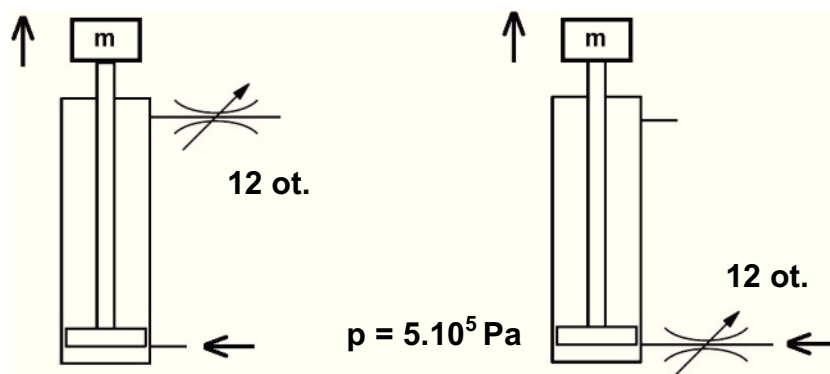
Při malém tlaku a velkém zaškrčení ventilu je z grafů patrné, že dochází ke značnému kolísání hodnot v obou nastaveních. Graf zachycující závislost rychlosti na dráze je velmi odlišný od grafu teoretického průběhu. Kolísání je patrné také z průběhu zdvihu, kde při škrčení na výstupu dochází k časovému zpoždění.

Při škrčení na vstupu je z průběhů tlaků vidět, jak se prostor pístu plní vzduchem, opět s kolísáním. Prostor pístnice se téměř okamžitě vyprázdní. Z grafu průběhu zdvihu lze názorně vidět trhaný pohyb vysouvání pístnice – oblasti vodorovných úseků křivky průběhu.

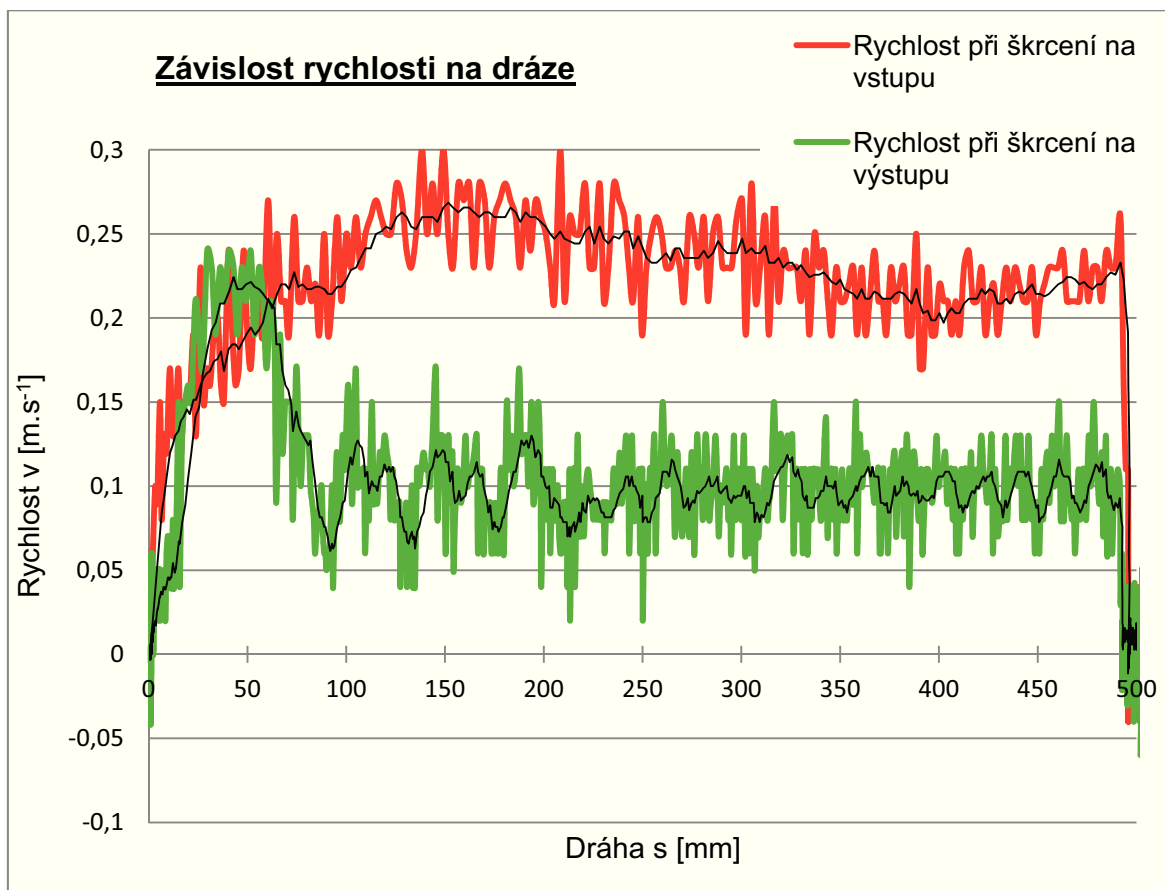
Při škrčení na výstupu lze vidět, že jsou tlaky v prostoru pístu a pístnice podstatně větší než při škrčení na výstupu. Je to způsobeno škrčením na výstupu z válce. V pracovních prostorách vzniknou díky škrčení na výstupu vzduchové polštáře. Prostor pístnice se nemůže tak rychle odvzdušnit, neboť je bržděný škrťacím ventilem. Díky tomu má průběh vysouvání konstantnější průběh.

Z časového hlediska je čas počátku vysouvání při škrčení na vstupu roven  $t = 0,2 \text{ s}$ . Naproti tomu při škrčení na výstupu je čas o poznání delší, a to  $t = 2,1 \text{ s}$ . Doba vysunutí pístnice při škrčení na výstupu překročila zvolený měřicí interval (10 s). Při škrčení na vstupu doba odpovídá zhruba  $t = 5,82 \text{ s}$ .

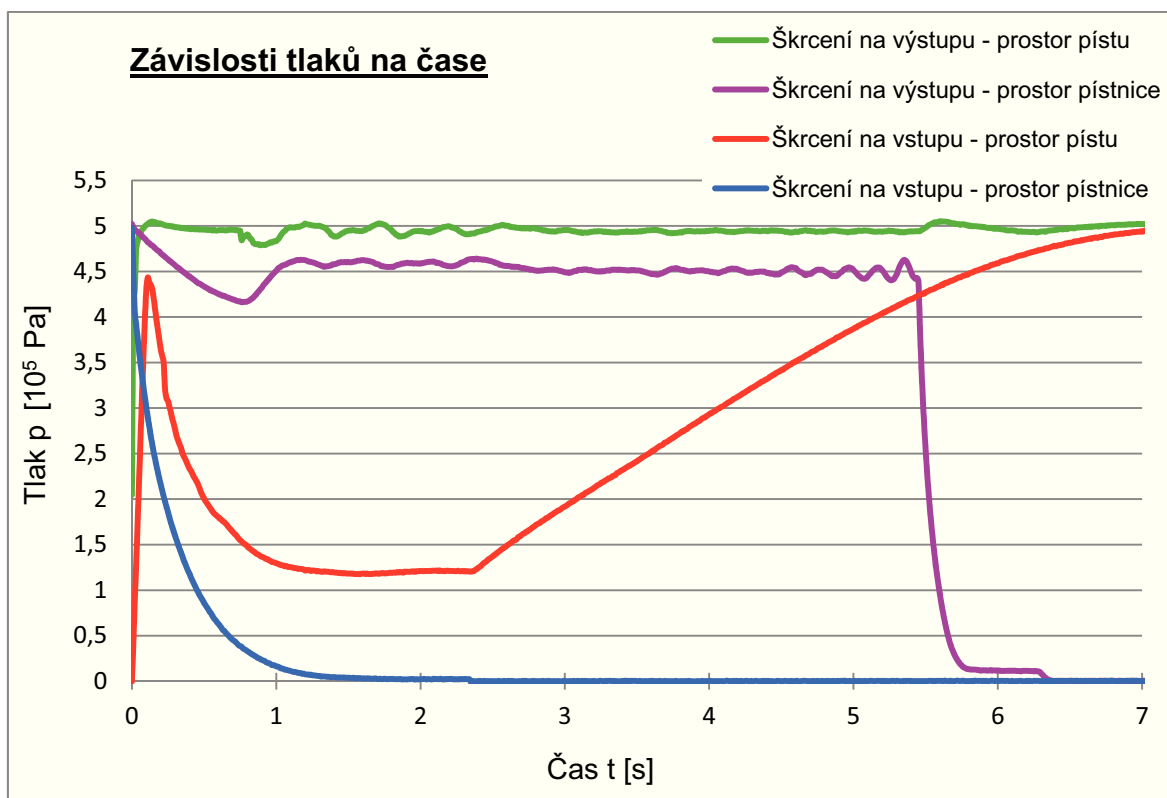
2. Nastavení – 12 ot. na ŠV při tlaku  $p = 0,5 \text{ MPa}$



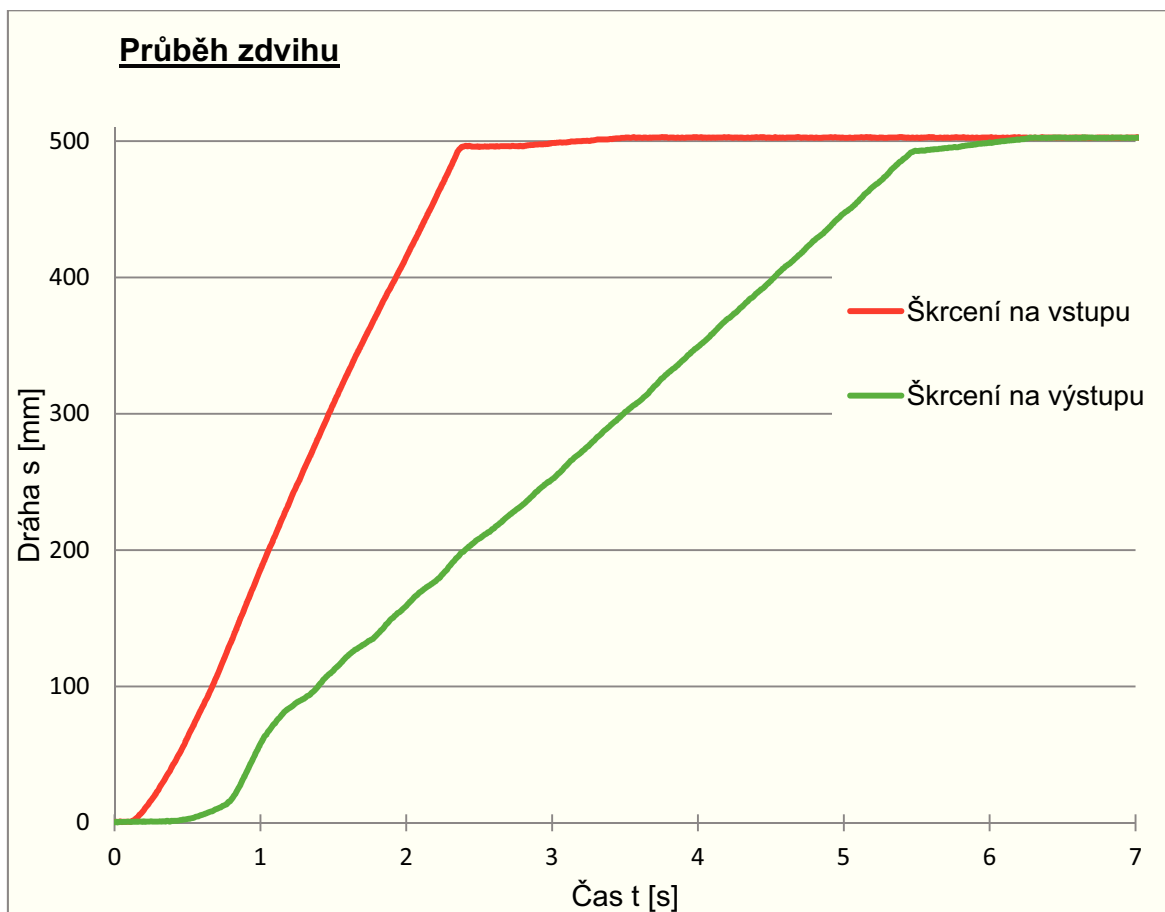
Graf 5.9 Závislost rychlosti na čase, 1. Měření,  $p = 5 \cdot 10^5 \text{ Pa}$



Graf 5.10 Závislost rychlosti na dráze, 1. Měření,  $p = 5 \cdot 10^5$  Pa



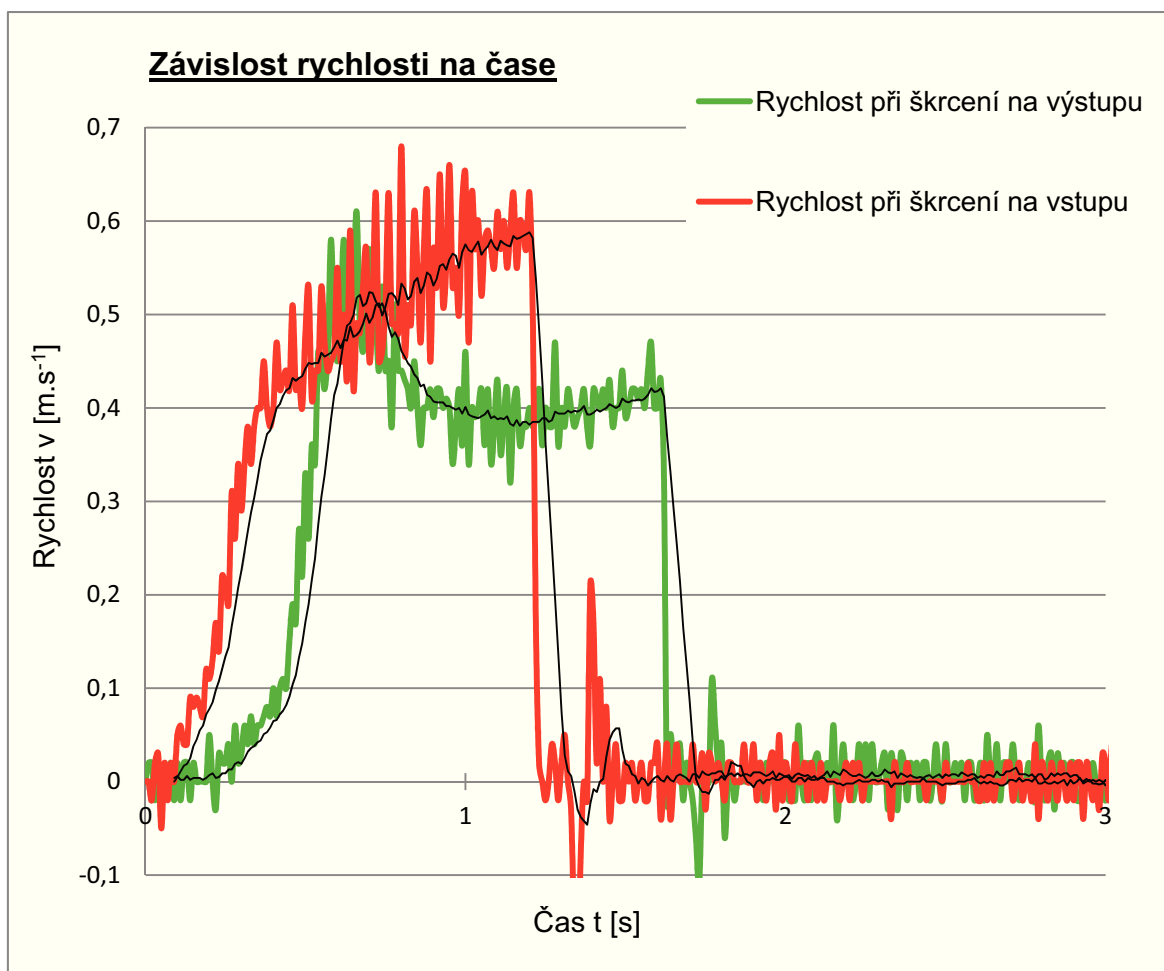
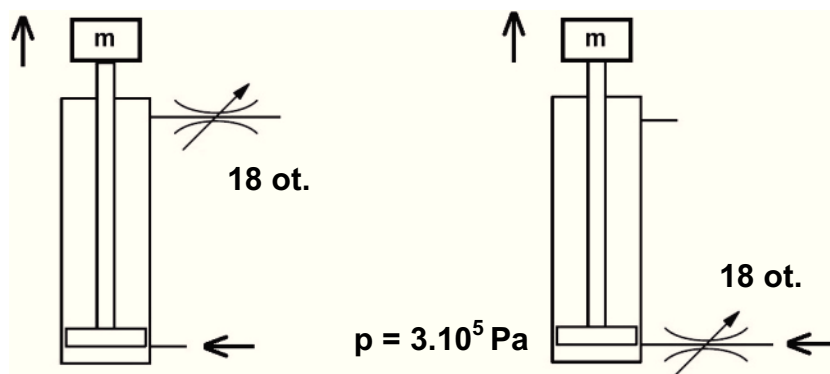
Graf 5.11 Závislosti tlaků na čase, 1. Měření,  $p = 5 \cdot 10^5$  Pa



Graf 5.12 Průběh zdvihu, 1. Měření,  $p = 5 \cdot 10^5$  Pa

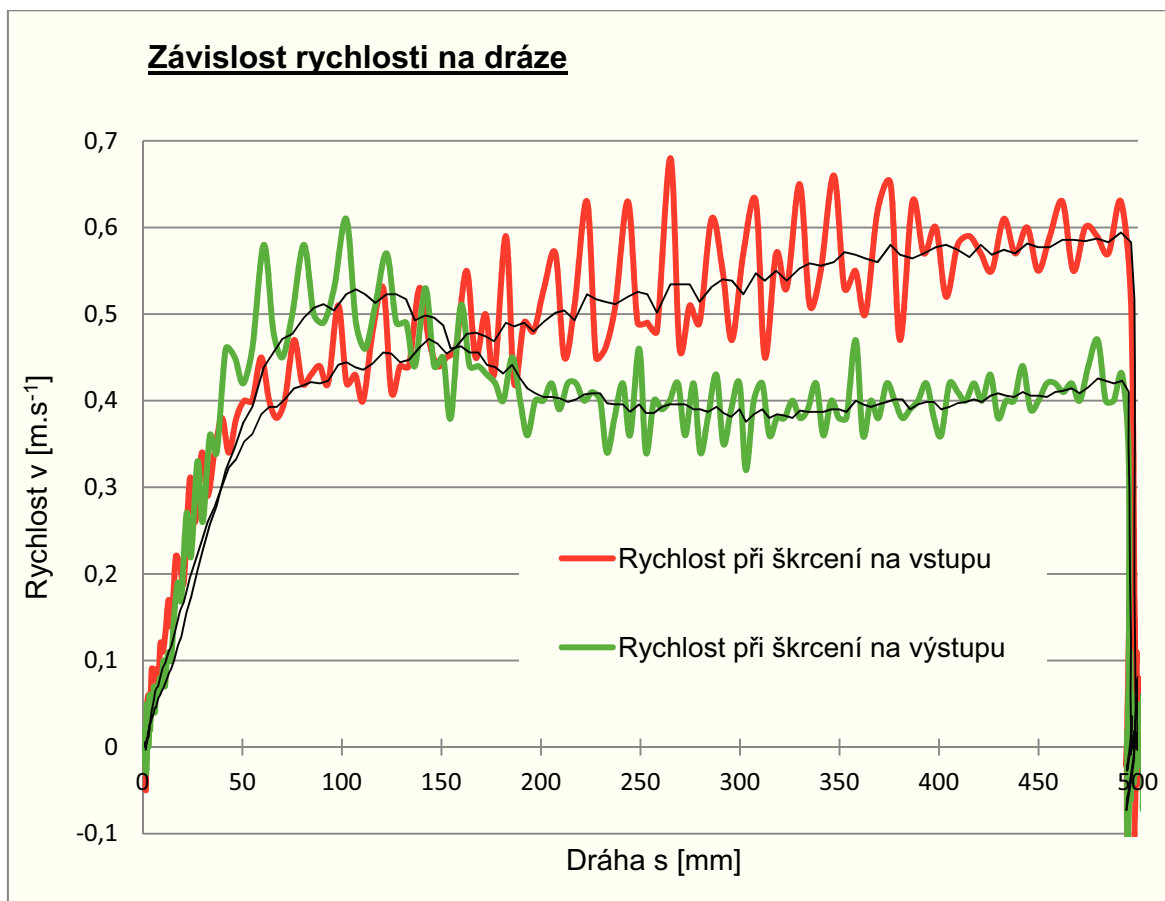
Při větším otevření ŠV, než tomu bylo u předchozího měření, lze vidět, že se průběhy rychlostí a zdvihu víceméně stabilizovaly. Kmitání se potlačilo a z grafu závislosti rychlosti na dráze lze již vysledovat přibližný tvar křivek tak, jako je tomu u grafu teoretického průběhu. Doba vysouvání pístnice při škrčení na vstupu je  $t = 2,35$  s a na výstupu  $t = 5,83$  s.

3. Nastavení – 18 ot. na ŠV při tlaku  $p = 0,3 \text{ MPa}$

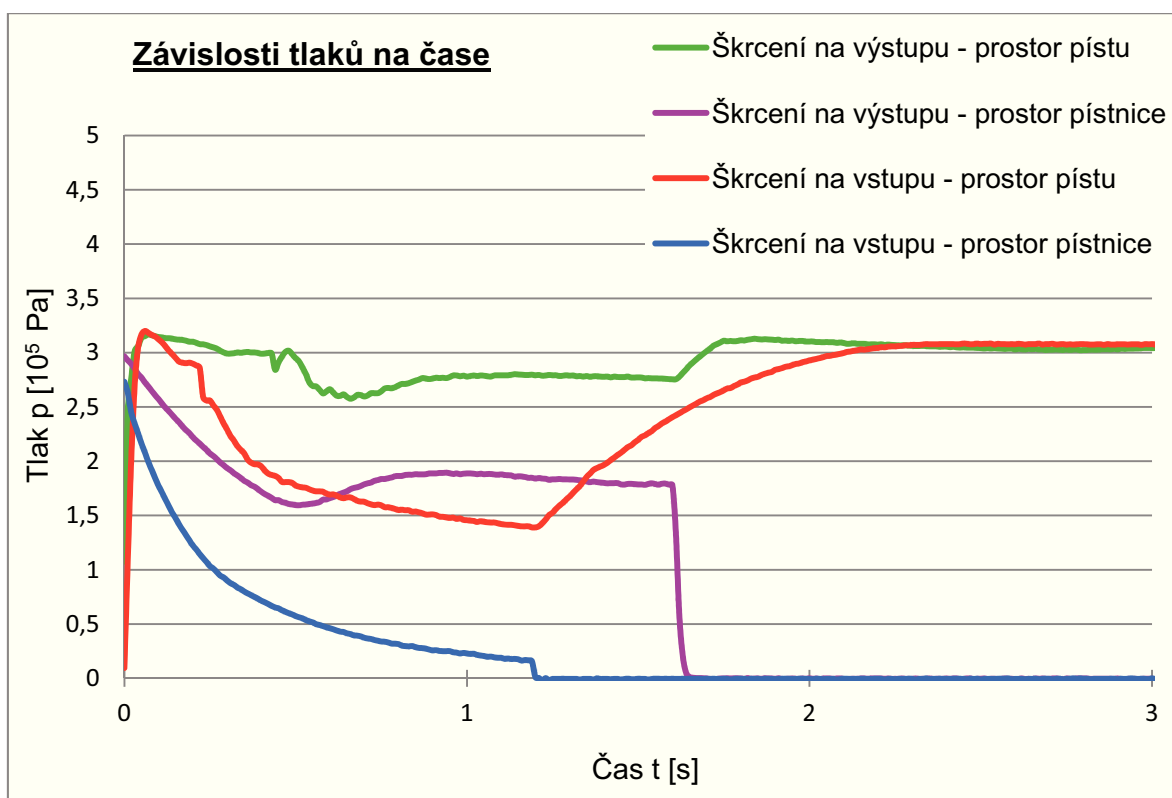


Graf 5.13 Závislost rychlosti na čase, 1. Měření,  $p = 3.10^5 \text{ Pa}$





Graf 5.14 Závislost rychlosti na dráze, 1. Měření,  $p = 3 \cdot 10^5$  Pa



Graf 5.15 Závislosti tlaků na čase, 1. Měření,  $p = 3 \cdot 10^5$  Pa

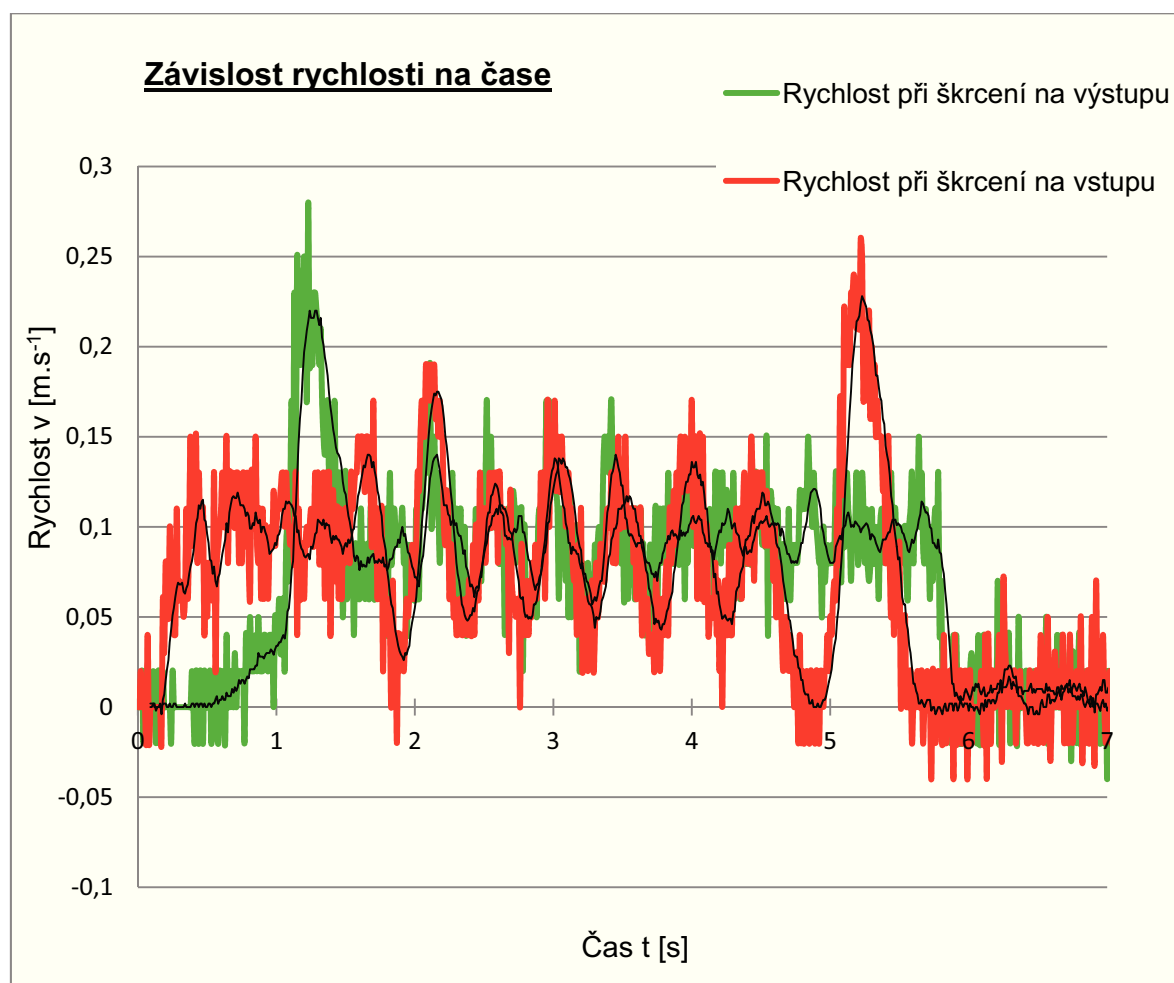
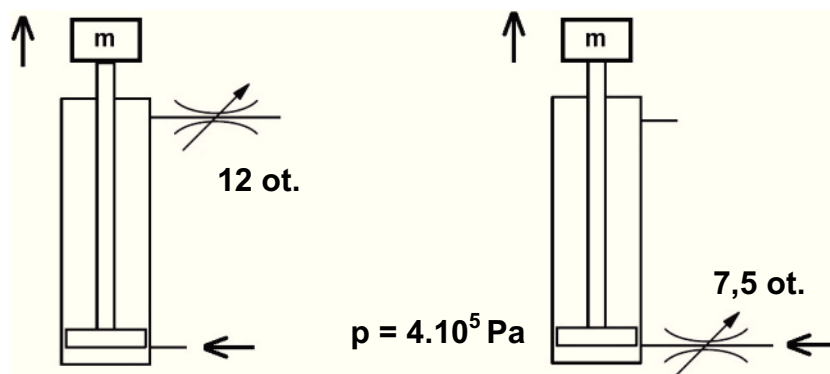
Při velkém otevření ŠV je vidět, že průběhy rychlostí se ještě více stabilizovaly. Z grafu závislosti rychlosti na dráze lze názorně pozorovat rychlý nárůst rychlosti a následně ustálenou hodnotu rychlosti při škrcení na výstupu. Naproti tomu při škrcení na vstupu má rychlost stoupající tendenci. Tento průběh je pro praxi nevyhovující. Při škrcení na vstupu je čas od přestavení rozváděče do maximálního zdvihu pístu  $t = 1,34$  s. Čas při škrcení na výstupu je  $t = 1,67$  s .

Z grafů rychlostí lze souhrnně konstatovat zajímavou skutečnost, která se vyskytuje jen při škrcení na výstupu. A to, že z počátku dojde vždy k překmitu nad hodnotu ustálené rychlosti. K tomuto jevu dochází ve všech sledovaných případech a velikost překmitu je zhruba  $0,1 \text{ m.s}^{-1}$ . Ve vztahu k ustálené rychlosti činil překmit ve sledovaných případech asi  $25 \div 100\%$ . Tato hodnota je tím větší, čím menší je nastavený tlak a menší otevření ŠV.

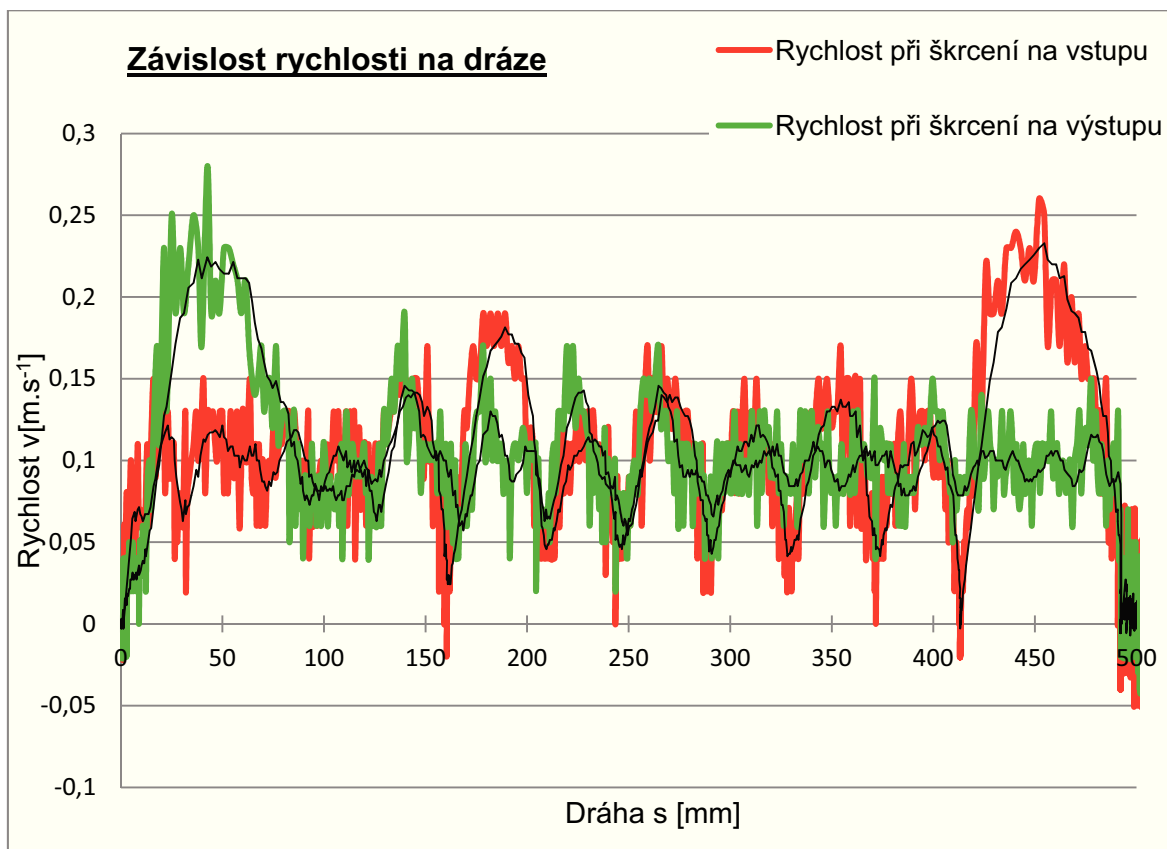
### 5.3 Škrčení na vstupu a výstupu při rozdílném nastavení ŠV a stejném tlaku

V tomto měření byl ŠV nastaven na vstupu do válce tak, aby čas vysunutí pístnice odpovídal nastavení ŠV při škrčení na výstupu, vždy při stejném tlaku.

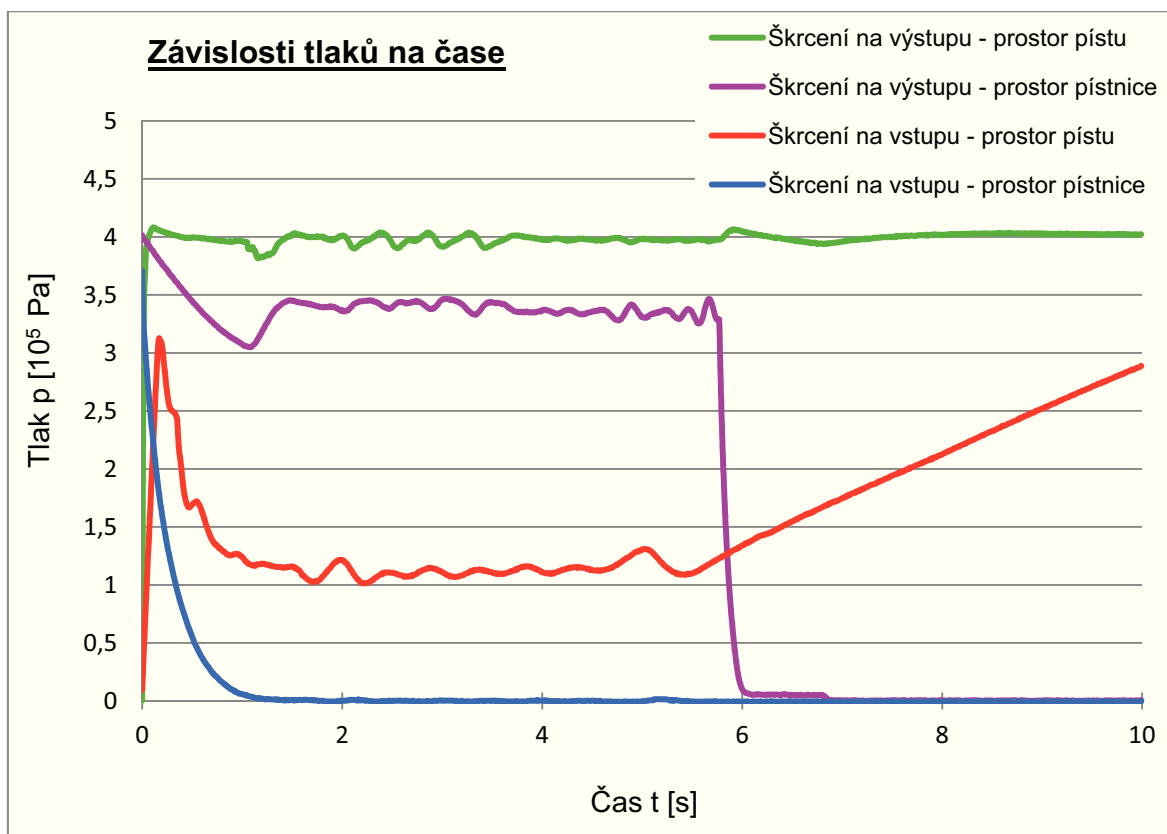
1. Nastavení – 12 ot. při škrčení na výstupu, 7,5 ot. při škrčení na vstupu, tlak  $p = 0,4 \text{ MPa}$



Graf 5.16 Závislost rychlosti na čase, 2. Měření,  $p = 4 \cdot 10^5 \text{ Pa}$



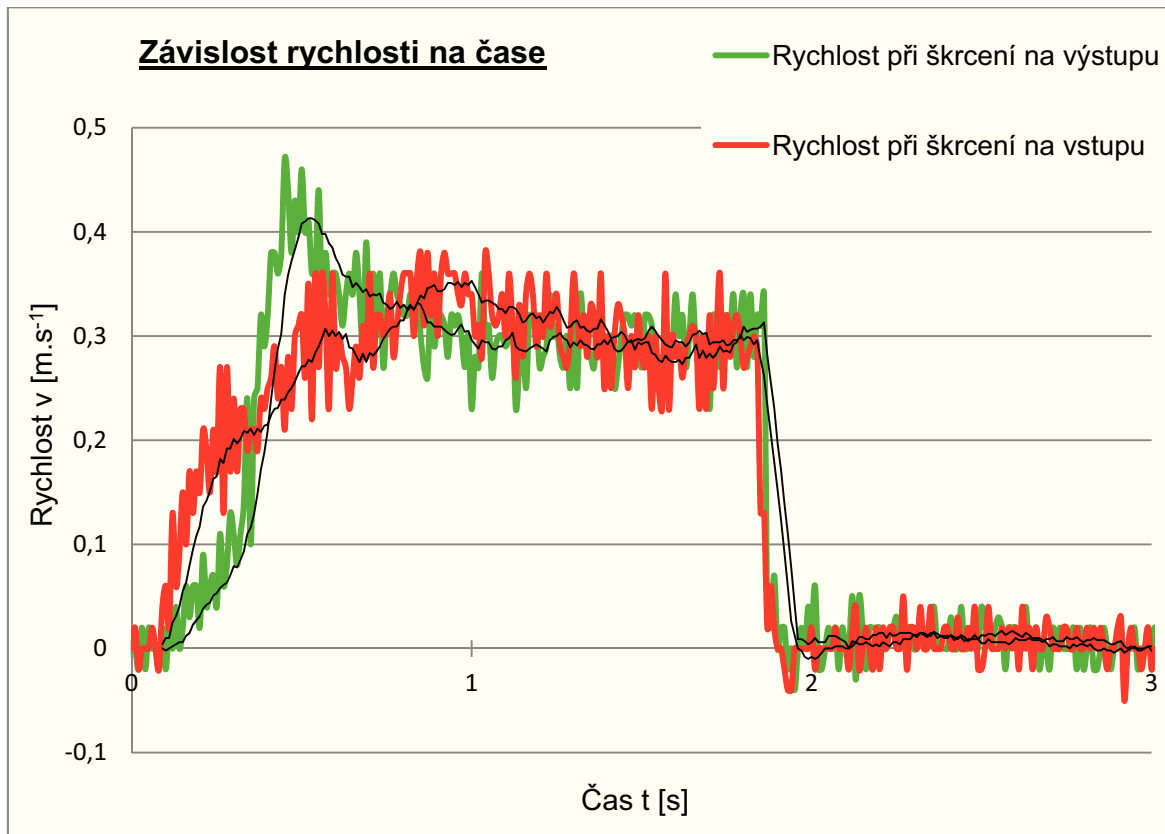
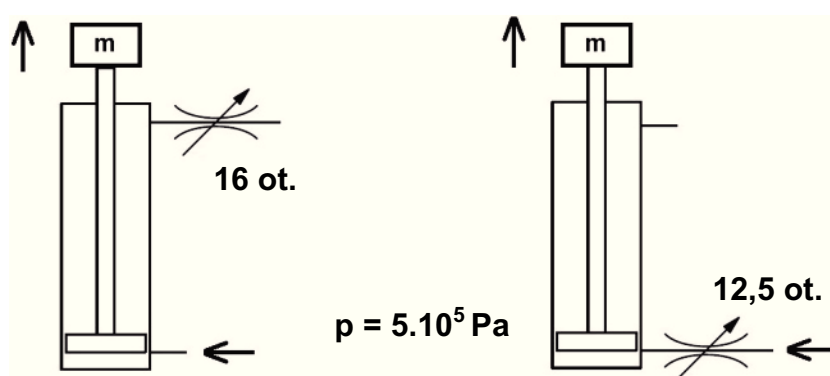
Graf 5.17 Závislost rychlosti na dráze, 2. Měření,  $p = 4 \cdot 10^5$  Pa



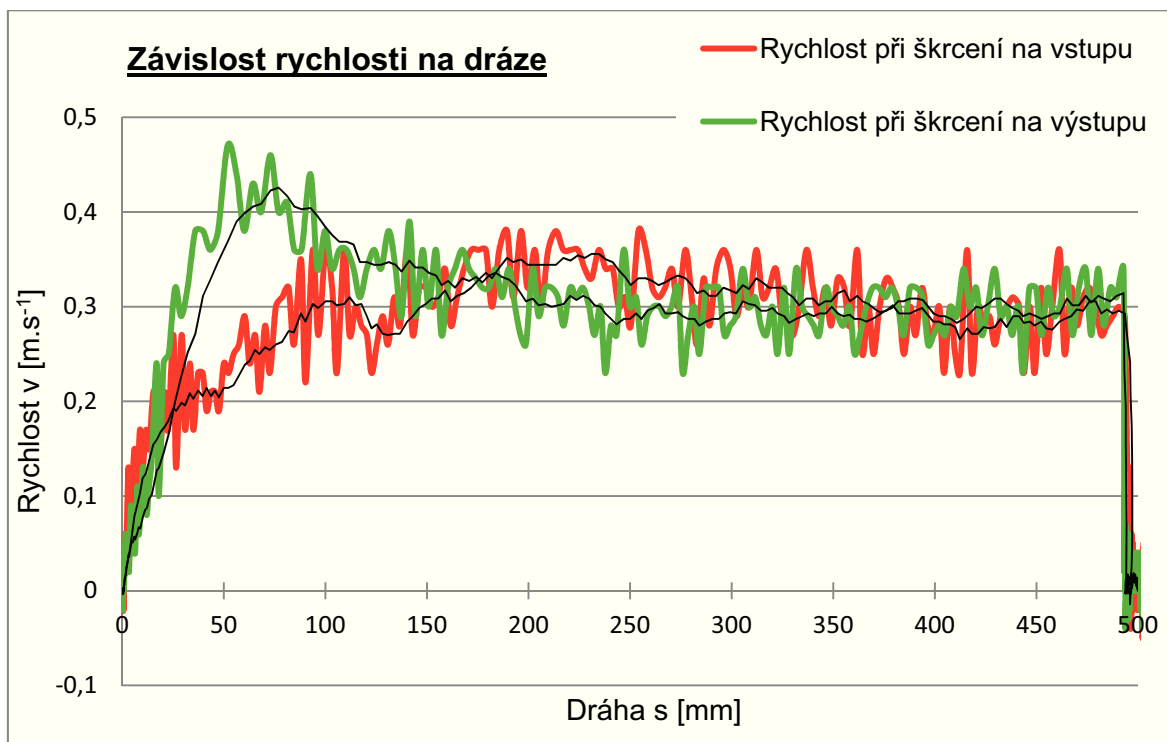
Graf 5.18 Závislosti tlaků na čase, 2. Měření,  $p = 4 \cdot 10^5$  Pa

Při velkém zaškrčení můžeme opět vidět charakteristické kmitání v grafech rychlostí. Z grafu tlaků lze sledovat pokles tlaku v prostoru pístnice při škrčení na výstupu po dojetí pístu do koncové polohy. Z nastavení ŠV vidíme, že při tlaku  $p = 0,4 \text{ MPa}$  je nastavení dvanácti otáček na výstupu stejných, jako sedm a půl otáček na vstupu do válce.

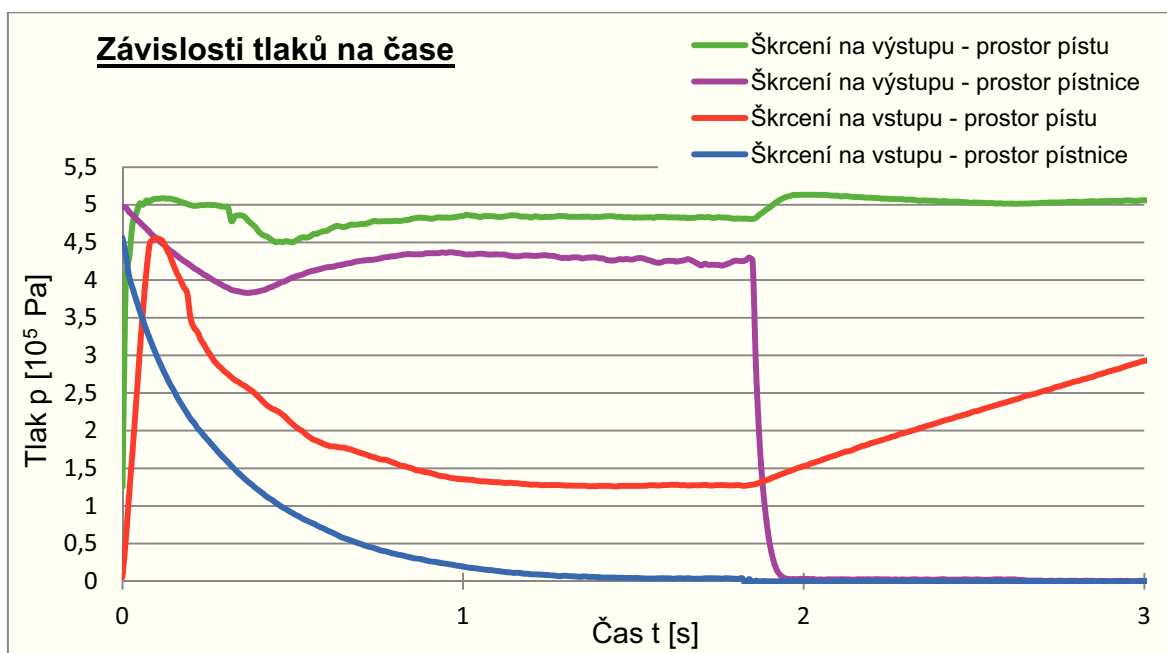
2. Nastavení – 16 ot. při škrčení na výstupu, 12,5 ot. při škrčení na vstupu, tlak  $p = 0,5 \text{ MPa}$



Graf 5.19 Závislost rychlosti na čase, 2. Měření,  $p = 5.10^5 \text{ Pa}$



Graf 5.20 Závislost rychlosti na dráze, 2. Měření,  $p = 5 \cdot 10^5$  Pa

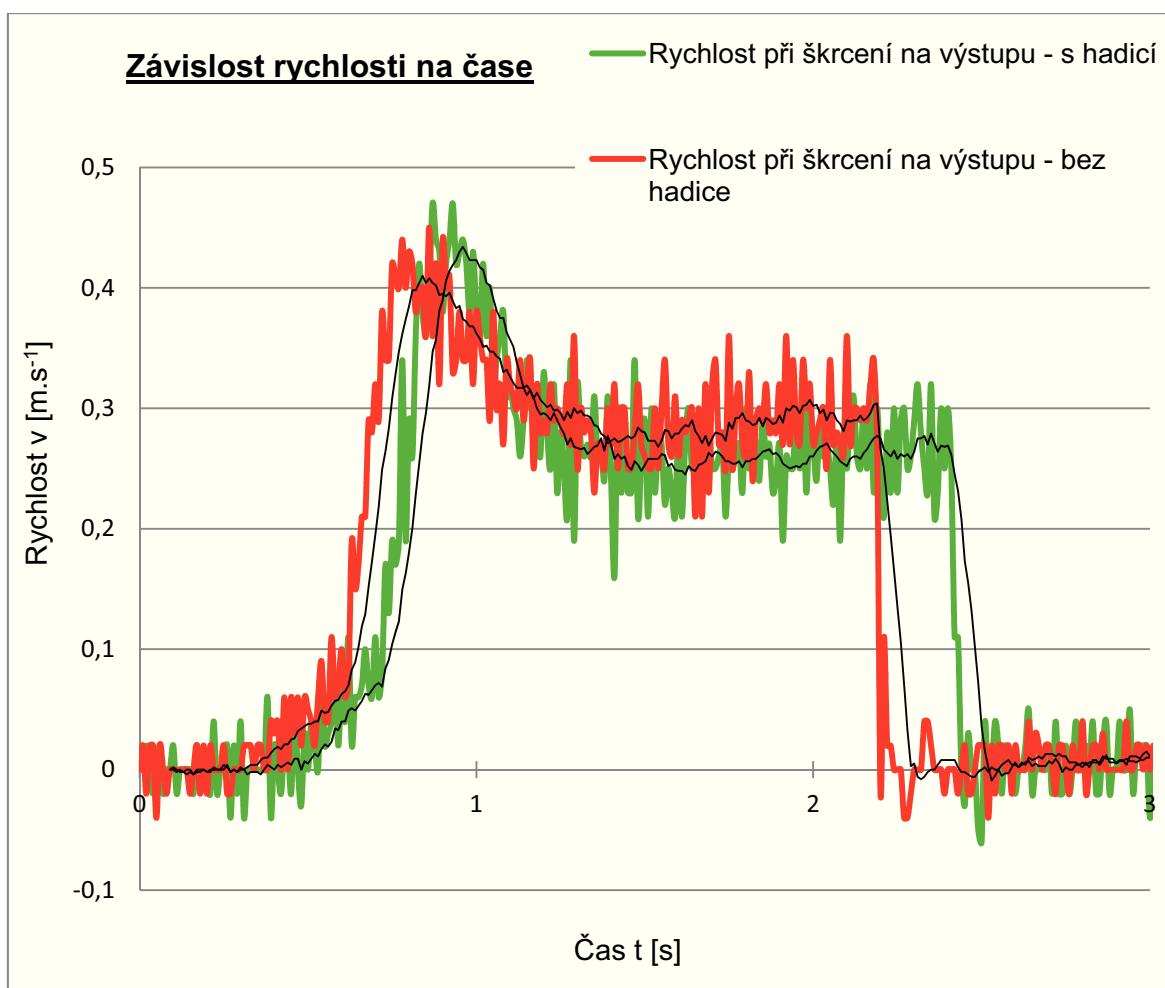
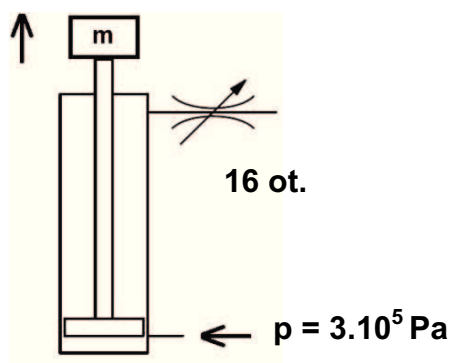


Graf 5.21 Závislosti tlaků na čase, 2. Měření,  $p = 5 \cdot 10^5$  Pa

Při vyšším tlaku a větším otevření ŠV je opět patrné zklidnění průběhu rychlostí. Z grafu zachycující závislost rychlosti na dráze je dobře vidět její navýšení, mírný pokles a následné ustálení při škrcení na výstupu. Naproti tomu při škrcení na vstupu má rychlost pomalejší průběh. Z časového hlediska jsou doby výsuvů shodné, a to  $t = 1,89$  s.

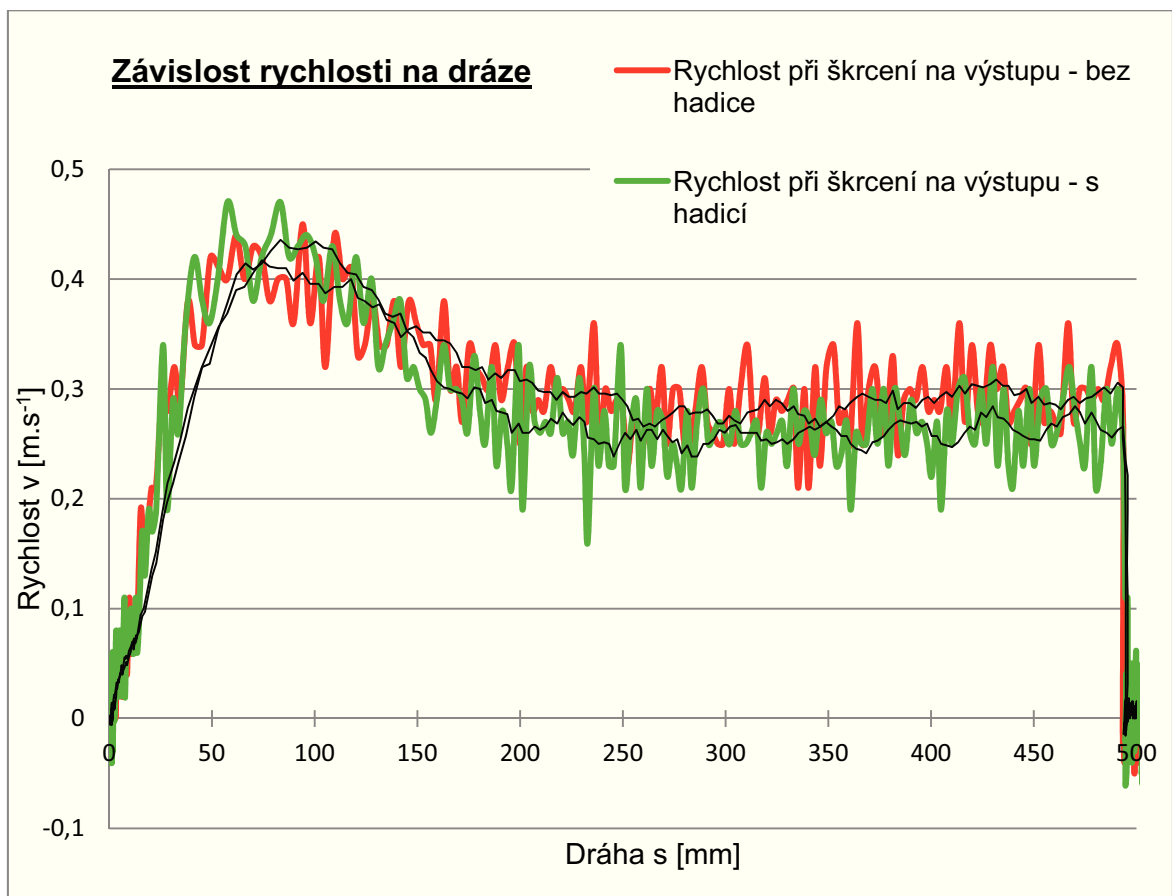
## 5.4 Škrčení na výstupu – vliv dlouhé hadice

Měření bylo provedeno při zapojení ŠV a jednosměrného ventilu na výstupu z válce. Porovnány jsou vždy průběhy se stejným nastavením ŠV a tlaku. Přidaná hadice o délce  $l = 3,82 \text{ m}$  a světlosti  $d = 4 \text{ mm}$  byla zapojena před ŠV. Zařazením hadice se zvětšil objem (mrtvého) vzduchu o 9,1 % oproti stávajícímu objemu prostoru pístnice. Tato skutečnost se projevila na charakteristikách.

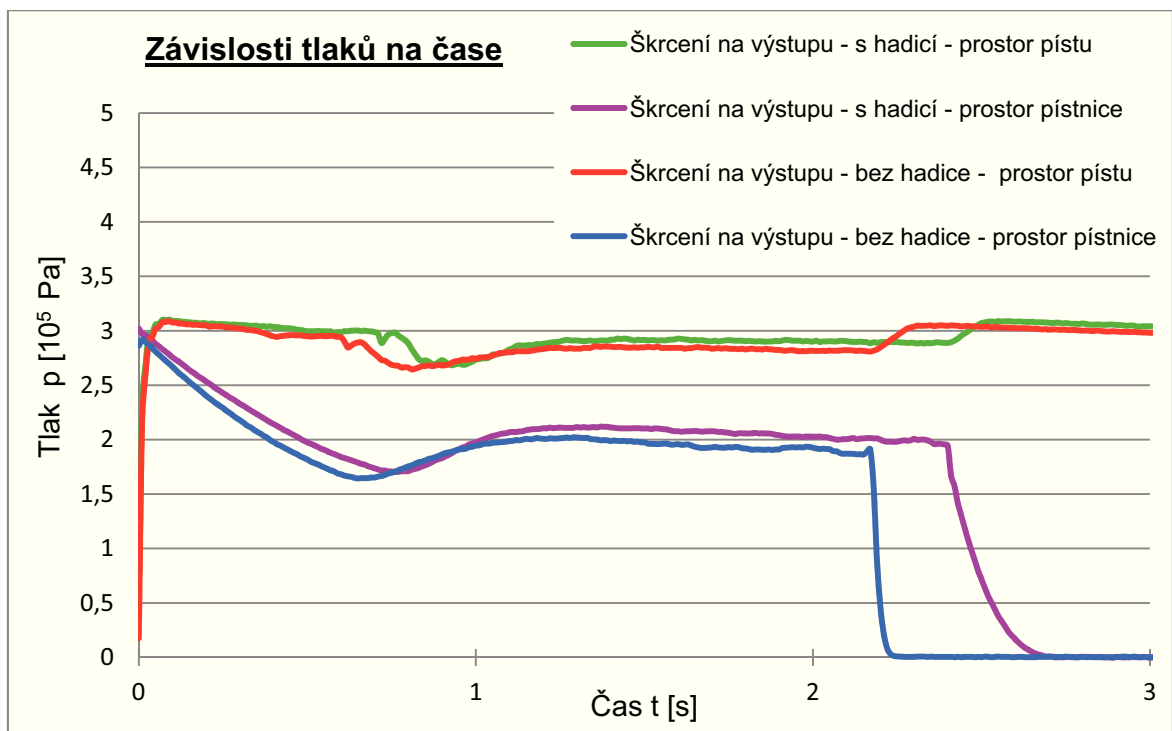


Graf 5.22 Závislost rychlosti na čase, 3. Měření,  $p = 3 \cdot 10^5 \text{ Pa}$





Graf 5.23 Závislost rychlosti na dráze, 3. Měření,  $p = 3 \cdot 10^5$  Pa

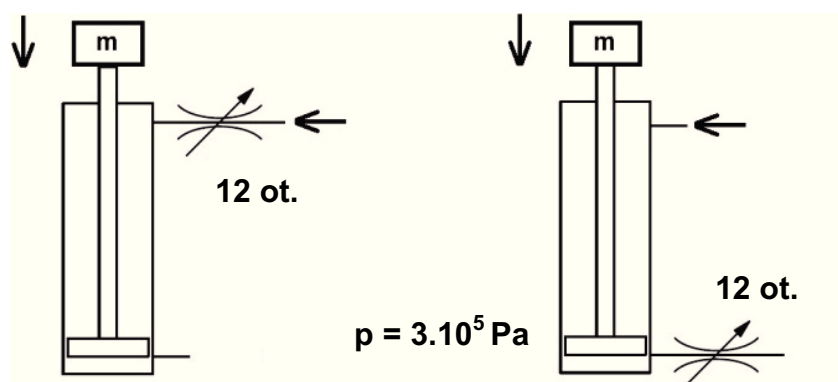


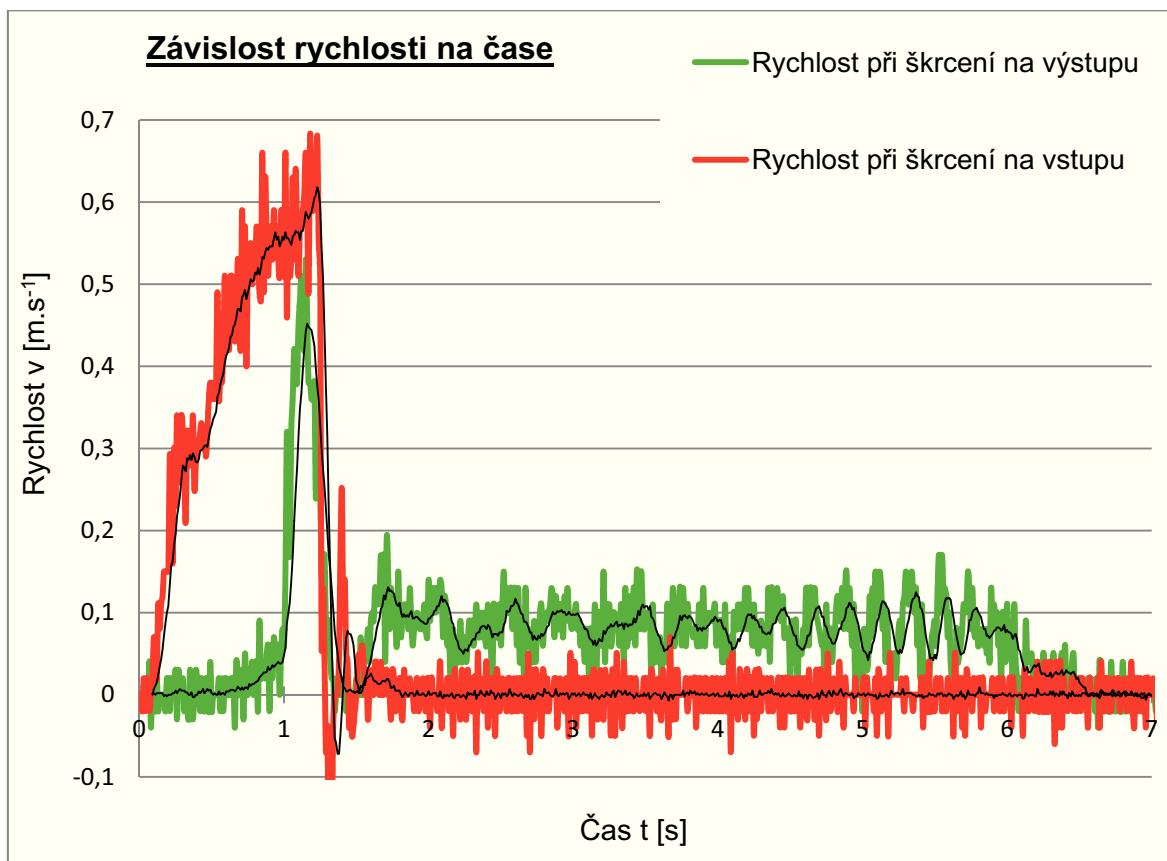
Graf 5.24 Závislosti tlaků na čase, 3. Měření,  $p = 3 \cdot 10^5$  Pa

Z grafu rychlosti je názorně vidět časová prodleva, která je způsobena přidáním dlouhé hadice do obvodu. Začátek pohybu pístu při zapojení s hadicí je opožděn zhruba o  $t = 0,1$  s. Čas potřebný pro vysunutí pneumatického motoru do koncové polohy při zapojení bez hadice je  $t = 2,27$  s, zatímco při zapojení s hadicí je potřebný čas delší o  $t = 0,46$  s (2,73 s). Zároveň však nemá zvýšení objemu zásadní vliv na průběh rychlostí. Z grafu tlaků lze pozorovat změnu objemu. Na konci zdvihu v zapojení bez hadice dojde k rychlému vyprázdnění kanálků ve víku motoru. Naproti tomu u zapojení s hadicí je patrný pozvolnější pokles tlaků v motoru. Časový rozdíl činí  $t = 0,3$  s.

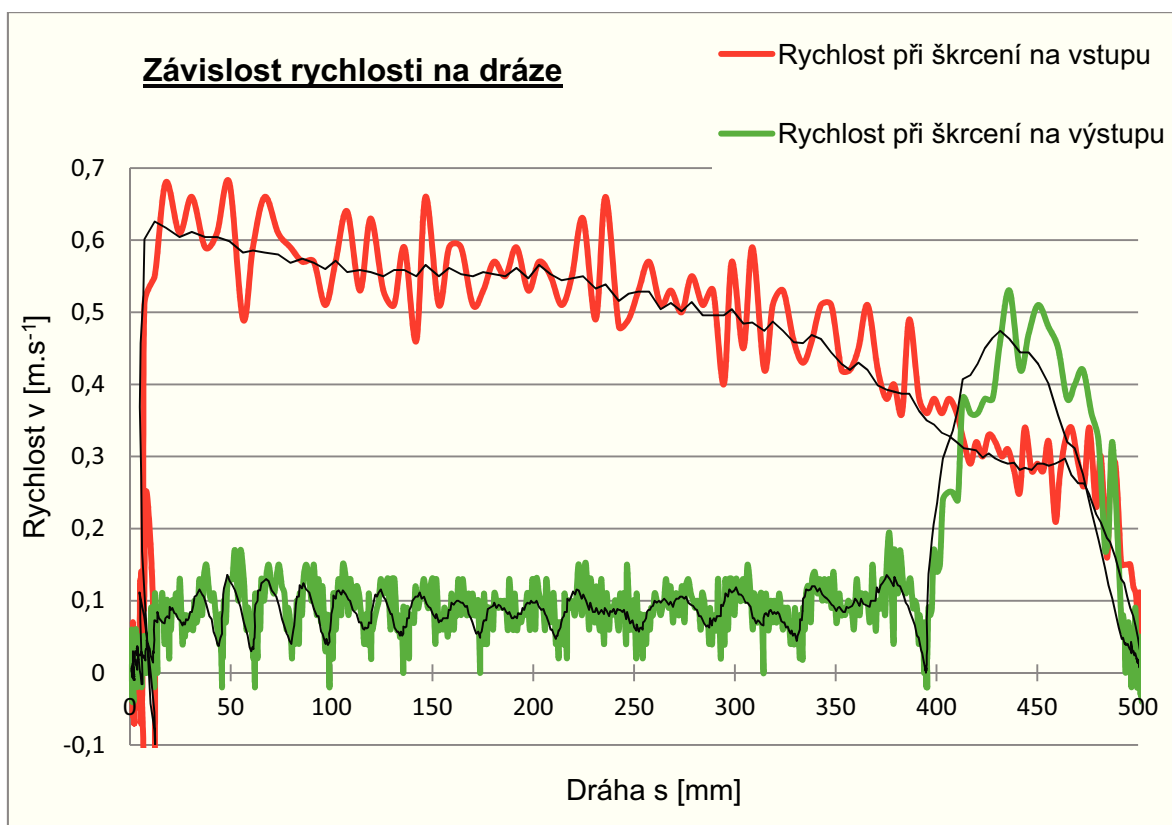
## 5.5 Škrčení na vstupu a výstupu při zasouvání zatížené pístnice

Měření probíhalo obdobně jako u ostatních měření, jen se změnou základní polohy pístnice – volil jsem vysunutou polohu. Po stisku tlačítka se rozváděč přestavil do polohy tak, že vstupující vzduch poháněl zasouvání pístnice. Tato byla také tlačena hmotným závažím.

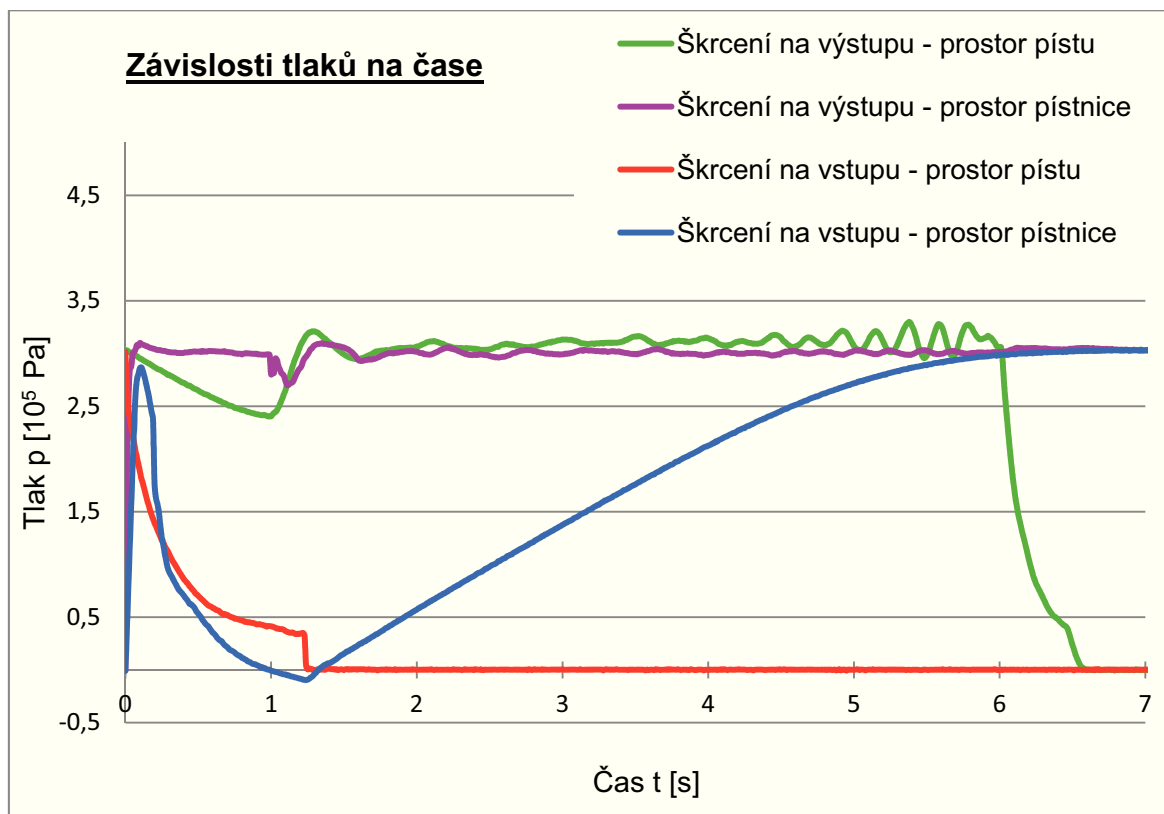




Graf 5.25 Závislost rychlosti na čase, 4. Měření,  $p = 3 \cdot 10^5$  Pa



Graf 5.26 Závislost rychlosti na dráze, 4. Měření,  $p = 3 \cdot 10^5$  Pa



Graf 5.27 Závislosti tlaků na čase, 4. Měření,  $p = 3 \cdot 10^5 \text{ Pa}$

Z grafů je zřejmé, že při zasouvání pístnice a škrčení na vstupu do válce se prostor pístu vyprázdní velmi rychle. Je to způsobeno tím, že je výstup otevřen. V podstatě se píst vrací do zasunuté polohy neřízeně (samovolným pádem). Tomu odpovídá také velký nárůst rychlosti v závislosti na čase. Za povšimnutí také stojí část grafu závislosti tlaku na čase, konkrétně jde o oblast mezi první a druhou vteřinou. Lze vypočítat podtlak v prostoru pístnice. Podtlak je způsoben nebržděným prostorem pístu, který se rychle odvzdušní, a také silou od hmotného závaží. Naproti tomu je do prostoru pístnice přiváděn škrčený vzduch, jehož objem neodpovídá změně objemu vyvozené od síly závaží a vzniká podtlak. Nejvyšší zaznamenaná hodnota podtlaku je  $p = -0,0097 \text{ MPa}$  ( $-9700 \text{ Pa}$ ), a to v čase  $t = 1,24 \text{ s}$ .

Při škrčení na výstupu z pneumatického motoru lze z grafů rychlostí vypočítat pomalejší a konstantnější průběh. To je způsobeno vzniklým vzduchovým polštářem, který se vytvoří v prostoru pístu, neboť tento prostor je škrčen. Průměrná rychlost je díky tomu na hodnotě  $v = 0,1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

## 6 ZÁVĚR

Cílem této mé bakalářské práce bylo porovnání a ověření skutečných průběhů rychlostí s teoretickými křivkami při vysouvání a zasouvání pneumatických motorů.

V této práci jsou uvedeny nejčastější konstrukce ŠV v různých kombinacích s ventily hradícího typu. Jedná se především o škrticí ventil v kombinaci s jednosměrným ventilem. Pro tento účel byla sestavena měřicí trať, kdy byl použit pneumatický motor o průměru  $d = 40\text{ mm}$  s efektivní délkou pístnice  $l = 500\text{ mm}$ . Pneumatický motor byl zatížen závažím o hmotnosti  $m = 10,335\text{ kg}$ . Pro vyhodnocení průběhů byly zaznamenávány hodnoty tlaků před a za pístem, průtok vzduchu, dráha, kterou pístnice urazí. Následně byla vypočítávána rychlost vysouvání pístnice. Nejvýznamějším prvkem obvodu byl škrticí ventil v kombinaci s jednosměrným ventilem. Ventil byl zapojován do obvodu tak, aby bylo zajištěno škrcení na vstupu a výstupu z pneumatického motoru. Pro každé z těchto dvou zapojení byla provedena sada čtyř měření se ŠV. Jedná se o škrcení při stejném nastavení ventilu (1. měření), škrcení tak, aby byl stejný čas vysunutí pístnice (2. měření), škrcení při zapojení dlouhé hadice do obvodu (3. měření), škrcení při zasouvání pístnice (4. měření). A dále jedna sada měření bez použití ŠV (5. měření).

Z naměřených a zpracovaných průběhů byly vyhodnoceny průběhy rychlostí v závislosti na čase a poloze pístnice, tlaků a zdvihů. Kompletní data jsou uložena v příloze práce (CD). Zde v práci jsou uvedeny jen nejnázornější průběhy.

Na základě zjištěných průběhů se potvrdily teoretické informace, hlavně co se týká rychlosti vysouvání v závislosti na vysunutí. Ze sestavených grafů je potvrzeno, že při škrcení motoru na výstupu je rychlost ustálená, ale vždy došlo k překmitu rychlosti při rozjezdu. Rovněž bylo potvrzeno, že při škrcení pneumatického motoru na vstupu se rychlost během průběhu zdvihu mění.

## 7 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] KOLEKTIV AUTORŮ. *SMC Training – Stlačený vzduch a jeho využití*. Brno: SMC Industrial Automation CZ s.r.o. 2. vydání. 344 s.
- [2] KOPÁČEK, J. *Pneumatické mechanismy díl 1. – Pneumatické prvky a systémy*. Ostrava: VŠB – TUO, 1996. 267 s. ISBN 80 – 7078 – 306 – 0
- [3] SMC. *Zpětné ventily a ventily pro řízení průtoku*. 2011. Dostupné z: <https://catalog.smc-cee.com/default.aspx?go=CZ:5>
- [4] PARKER LEGRIS. *Parker Legris: Connection Solutions for Industrial Fluids*. 1. vyd. 2012. Dostupné z: [http://www.parker.com/literature/Fluid%20System%20Connectors%20Division%20Europe/emdc/General%20Catalogue/New%20Catalogue%202013/Catalogue\\_Web\\_EN.pdf](http://www.parker.com/literature/Fluid%20System%20Connectors%20Division%20Europe/emdc/General%20Catalogue/New%20Catalogue%202013/Catalogue_Web_EN.pdf)
- [5] FESTO. *Jednosměrné škrticí ventily, škrticí ventily a funkční kombinace: GRXA\_CZ*. 1. vyd. 2007. Dostupné z: [http://www.festo.com/cat/cs\\_cz/data/doc\\_cs/PDF/CZ/GRXA\\_CZ.PDF](http://www.festo.com/cat/cs_cz/data/doc_cs/PDF/CZ/GRXA_CZ.PDF)
- [6] XEON. STASTO. *Serie MV*. 1. vyd. 2010. Dostupné z: <http://www.stasto.cz/data.aspx?data=bb278b7d-3e0f-4d36-b1c9-6f871515f45b>
- [7] DEPRAG. *Air Motors Customized drive solutions*. 1. vyd. Germany, Amberg 92224, 2012. Dostupné z: [http://www.deprag.com/fileadmin/bilder\\_content/emedi/broschueren\\_pics/emedi\\_druckluftmotoren/D6000/D6000en.pdf](http://www.deprag.com/fileadmin/bilder_content/emedi/broschueren_pics/emedi_druckluftmotoren/D6000/D6000en.pdf)
- [8] SCHMID, Dietmar a Jiří HANDLÍŘ. *Řízení a regulace pro strojírenství a mechatroniku*. 1. vyd. Praha: Europa-Sobotáles cz, 2005. 420s. ISBN 80 – 86706 – 10 – 9.
- [9] BEATER, P. *Pneumatic drives: system design, modeling and control*. Berlin: Springer, 2007. 323p. ISBN 978 – 3 – 540 – 69470 – 0